



OFICINA DE PARTES 1 FIA	
RECEPCIONADO	
Fecha	02 AGO 2016
Hora	15:05
Nº Ingreso	31-449

INFORME TECNICO Y DE GESTIÓN FINAL

EJECUTOR:

Nombre	Geco Enterprises Limitada
Giro	Consultoría
Rut	
Representante	Dvora Laio Wulfsohn

NOMBRE DEL PROYECTO:

Estudio de la factibilidad técnico económica de usar energía geotérmica para el control de heladas

CODIGO: EST 2015-0308

Nº INFORME: FINAL

PERIODO: desde 16 junio 2016 hasta 30 Julio 2016

NOMBRE Y FIRMA COORDINADOR PROYECTO

Nombre	Dvora Laio Wulfsohn
Rut	
Firma	



I RESUMEN EJECUTIVO

Resumen ejecutivo del desarrollo del proyecto, sus resultados y los impactos esperados. Debe ser globalizante, incorporando aspectos de importancia general dentro del proyecto, y dejando la discusión de detalle en el Texto Principal. Debe ser corto y específico, no repitiendo las discusiones, análisis y calificaciones específicas contenidas en el Texto Principal.

Las heladas representan para nuestro país y Región un importante problema que se ha ido acentuando producto del cambio climático dejando ser un evento cada 10 años, sino que cada 1 a 2 años tenemos eventos que en diferente magnitud afectan la producción hortofrutícola de nuestro país, con el consecuente perjuicio económico de menores ventas, menor empleabilidad en el sector agrícola y el uso de recursos de parte del Estado para compensar en parte las pérdidas que sufren los productores.

Los acuerdos de Kyoto, los requerimientos de etiquetas verde o declaración de huella de carbono en los productos alimenticios de exportación pone en cuestionamiento el uso de los métodos activos que se utilizan actualmente para el control de heladas, que requieren de un alto consumo de gas butano o diesel con altas emanaciones al ambiente ya que debe ser quemado para producir calor así como otras limitaciones prácticas. Excepciones lo son el agua y los ventiladores eléctricos, sin embargo la primera tiene limitaciones referido a la disponibilidad del recurso en la fecha de heladas en Chile y otros problemas, en cuanto a los ventiladores eléctricos que deben contar con la fuente de energía a nivel predial.

Para ello se propuso estudiar la factibilidad técnica, normativa y económica de control de heladas a través del uso de energía geotérmica, focalizando el trabajo en la región de O'Higgins en las comunas de San Fernando y Pichidegua en los cultivos de cerezas y melones.

Producto de este estudio se ha logrado establecer la posibilidad del uso de la geotermia como fuente de calor para el control de heladas siendo de preferencia el uso de la temperatura que poseen los acuíferos que al disponer de pozos con un flujo de 40 L/s será suficiente para liberar la por conducción y convección al suelo y el ambiente respectivamente la energía calórica requerida para el control de las heladas.





II TEXTO PRINCIPAL

1 Breve resumen de la propuesta, con énfasis en objetivos, justificación del proyecto, metodología y resultados e impactos esperados.

Problema y/ u oportunidad: Las heladas representan para nuestro país y Región un importante problema que se ha ido acentuando producto del cambio climático dejando ser un evento cada 10 años, sino que cada 1 a 2 años tenemos eventos que en diferente magnitud afectan la producción hortofrutícola de nuestro país, con el consecuente perjuicio económico de menores ventas, menor empleabilidad en el sector agrícola y el uso de recursos de parte del Estado para compensar en parte las pérdidas que sufren los productores.

Los acuerdos de Kyoto, los requerimientos de etiquetas verde o declaración de huella de carbono en los productos alimenticios de exportación pone en cuestionamiento el uso de los métodos activos que se utilizan actualmente para el control de heladas, que requieren de un alto consumo de gas butano o diesel con altas emanaciones al ambiente ya que debe ser quemado para producir calor así como otras limitaciones prácticas. Excepciones lo son el agua y los ventiladores eléctricos, sin embargo la primera tiene limitaciones referido a la disponibilidad del recurso en la fecha de heladas en Chile y otros problemas, en cuanto a los ventiladores eléctricos que deben contar con la fuente de energía a nivel predial.

Propuesta innovadora

Realizar explotaciones de pequeña escala para extracción de calor en el subsuelo y usarlo para el control de heladas a nivel predial. Complementando su uso en climatización de invernaderos, casa de los mismos agricultores, galpones de crianza y desinfección de suelo.

Objetivos generales

Estudiar la factibilidad técnica, normativa y económica de control de heladas a través del uso de energía geotérmica.





Metodología

Se realizó una revisión bibliográfica acabada de las experiencias de uso de la energía tanto en Chile como el exterior, contactando a las empresas y conocer la experiencia práctica de ellos. Para ello se recurrirá a revistas científicas de ingeniería, sociedades profesionales (ASABE y otros), Universidades y empresa privada. Esta revisión estará centrada en: 1. la aplicación (¿para qué?), 2.-capacidad productiva calor, 3.-tecnología usada, 4.-costo tecnología, 5.-Experiencia del usuario.

Así también se realizó un análisis de la oferta tecnológica disponible a nivel país y extranjero de empresas que prestan servicios de extracción geotérmica, capacidad instalada, proyectos realizados en agricultura y costos de los servicios. Para ello se revisará a través de los buscadores de internet, guías comerciales, Geothermal Association, ACHEGEO Asociación de Geotermia de Chile y también se contactó a Centro de Excelencia de Geotermia de Los Andes (CEGA) entre otros; todos los actores serán contactados y entrevistados personalmente, por mail y/o teléfono.

Además se contrató la asesoría de William Glassley miembro del staff del California Geothermal Energy Collaborative de la Universidad de Davis en California y en Chile, la asesoría del Centro de excelencia de Geotermia de Los Andes (CEGA)

La evaluación técnica de la fuente energética se realizó desde la perspectiva de 2 especies, hortalizas y frutal eligiéndose los más sensibles a heladas y de mayor superficie plantada en las regiones en estudio; de las cuales se dispondrá además de los costos y rentabilidad del cultivo.

Se consideró una helada de acuerdo a la experiencia en la región en cuanto a temperatura y duración, para proceder a realizar el cálculo del volumen de aire a remover y tiempo a distribuir (demanda de calor calculada).

Así también se investigó respecto de estudios disponibles que den cuenta de la capacidad de producción de calor posible de alcanzar en la Región de O'Higgins entre 10 a 15 mt de profundidad para suplir la demanda calculada y la tecnología específica requerida.

Se evaluó el uso complementario de la fuente energética para climatización, calentar agua en la propiedad y en el caso de hortalizas para desinfección de suelo de ser posible, como una forma de optimizar el uso y acelerar la amortización de la inversión.

Esta actividad estuvo a cargo de los tres integrantes del equipo y se solicitó la asesoría del Centro de Excelencia de Los Andes.

La evaluación operacional contempló la simulación en el cómo hacerlo en campo para instalar una extracción geotérmica estableciendo: Los requerimientos en materiales, equipos, obras civiles, JH y JM requeridas para una explotación del tamaño establecido en el objetivo 2.





Esta parte del estudio era abordado por el Ingeniero Civil e Ingeniero agrónomo donde además se contempla la asesoría del Centro de Excelencia de Geotermia de Los Andes.

La evaluación económica consistió en la valorización de los requerimientos establecidos en el objetivo 3 los cuales serán analizados en cuanto a flujo anuales de los cultivos, niveles de inversión, tiempo de amortización de la inversión, relación costo beneficio, superficie mínima.

Para ello trabajara de manera conjunta el Ingeniero Civil e Ingeniero agrónomo.

Se considero una revisión de la Ley y su alcances para lo cual y visto que corresponde al Ministerio de Minería la aplicación, control y cumplimiento y sus reglamentos, así como atribuciones conferidas a la Comisión Nacional de Energía Se considera una entrevista de trabajo con personal técnico del ministerio de minería y la CNE para conocer sus alcances y como logra dar cumplimiento a la Ley en estos proyectos de menor extracción.

En cuanto a los aspectos medioambientales y sus impactos producto de esta explotación se considera realizar entrevista a personal técnico de la autoridad local del medioambiente.

Se considera el trabajo conjunto de Coordinador de proyecto y la profesional Ingeniero agrónomo.



Resultados:

Contar con un estudio de la factibilidad técnico, normativo y económico del uso de la energía geotérmica para el control de heladas.

2 Cumplimiento de los objetivos del proyecto:

Resultado Esperado	Resultados obtenidos	Razones discrepancia
Contar con un Informe detallado de experiencia del uso geotermia en agricultura oferta y	Se realizo un exhaustiva revisión bibliografía en Chile y el exterior; a partir de ello se concluye que la mayoría de las prácticas con energía geotermica estan orientadas a produccion de energia electrica y calor en sistemas cerrados.	n/a
Informe Técnico con la descripción del equipamiento requerido y capacidades.	1.Se estableció las especies con mayor sensibilidad y efecto económico negativo (superficie, m.obra, inversión) en caso de ser afectadas por una helada : melón, tomates, uva de mesa y cerezos.De las cuales se evaluao cerezos y melón 2.Los afluentes de agua evaluados dan cuenta de temperaturas que oscilan entre los 16 a 20°C desde los 5 m de profundidad hasta los 100m según localidad y de forma constante, siendo una interesante fuente de calor . 3. La cantidad de energia a entregar para el control de una helada dependen principalmente de la velocidad del viento y el diferencial de temperatura a suplir pudiendo requerirse desde 1.700.000 kCal / ha/hr a 3.500.000 Kcal/ha / hr .	A mejor localización del recurso y reducción de perdidas a través de estructuras complementarias como techos antilluvia (cerezos) túnel plástico (melón) menor requerimiento energético.
Informe operacional con los requerimientos para implementar el sistema geotérmico	1.-Para huertos con riego tecnificado las tuberías primarias,secundarias y terciarias representan una interesante opción de conducción de calor que debe ser complementado en Cerezos con tuberías de buena capacidad de conducción térmica 2. Se estableció para cerezos como potencial método de control de heladas con uso de energía geotérmica el uso de : a) Calor a presión o b) Neblina caliente . 3. En el cultivo del melón se contempla en caso de disponer de riego tencificado el uso de las tuberías principales y a nivel de hilera poner cintas plásticas bajo la mesa de plantación para generar calor por conducción y radiativo. 6.La fuente de calor será el agua que está a 18°C se podra general la energia requerida si dispone de un caudal >40 L/s en cerezos y melón. 7. Si el caudal de agua es menor debería ser suplementado el sistema con Bomba de calor (BC) lo que será viable según la energia a suplementar,debiendo evaluarse el costo de la (s) BC.	Ante la ausencia de información geológica y de las propiedades térmicas en las zonas de interés agrícola se requiere para un adecuado proyecto establecer propiedades del suelo donde tendra lugar el proyecto de finitivo como son; T° y oscilación anual en el suelo,Conductividad del suelo,Difusividad,capacidad térmica.Conformación geológica.
Valorizar la inversión y establecer el tiempo de amortización y superficie mínima	Se estableció un valor aproximado de la inversión requerida,valor sujeto al recurso energético que se disponga en el lugar a instalar el sistema. Cerezos: Sin bomba de calor USD 14. 894 / 4 ha ,La inversión queda cubierta al 4to año Con bomba de calor USD 137.108/ 4 ha. La inversión del equipo queda cubierta al 8vo año Melón: Sin bomba de calor \$ 2.960.400/ ha , superficie mínima cubrir la inversión 2 ha. En el caso de requerir Bomba de calor la inversión asciende a \$29.325.425/ha ,superficie mínima para cubrir inversión 5,5 Ha.Requiere un caudal de 40L/s	a) La bomba de agua y el pozo tiene uso alternativo que puede rebajarse de la inversión asi como puede acceder a subsidio 50 a 70% CNR si hay autorización de perforar. La superficie mínima con o sin helada de plantación de cerezos es de 4 Ha por gestión del cultivo.



Impactos obtenidos

Por tratarse de un estudio, esperamos que con la implementación del sistema de control de heladas con energía a partir de geotermia se obtenga:

- Seguridad y oportunidad para el control de heladas a nivel predial
- Reducción del costo asociado a las indemnizaciones entregadas por el Estado a los productores por los daños causados por heladas.
- Control de heladas usando un medio de escaso a cero niveles de contaminación.
- Asegurar la oferta laboral agrícola al reducir las pérdidas de cultivos
- Reducción de costos en climatización (frío-calor) de casa y otras estructuras que lo requieran.

De acuerdo al INE el salario de los hogares rurales e Maule y O'Higgins se estima en 450M\$.

Consumo de energía calefacción en leña \$ 648.000 al año y si pudiera climatizar en verano el costo sería de \$ 505.800 en una casa de 100m²

- La utilización una fuente de energía renovable, como es la geotermia, permite una mayor independencia frente a las subidas de los precios de los combustibles en comparación con los sistemas de calefacción tradicionales.
- Permite disminuir la huella de carbono de la producción final.

Otros impactos

Se ha recibido de parte del Sr. Diego Morata, Director de CEGA U Chile el interés de participar en el desarrollo de la implementación del proyecto ante el desafío y oportunidad que representa la aplicación.

Al ser publicada la noticia en el Portal del Campo (13 de julio 2016), se transformó en la noticia mas visitada de la semana.





3 Aspectos metodológicos del proyecto:

- Descripción de la metodología efectivamente utilizada
- Principales problemas metodológicos enfrentados
- Adaptaciones o modificaciones introducidas durante la ejecución del proyecto, y razones que explican las discrepancias con la metodología originalmente propuesta
- Descripción detallada de los protocolos y métodos utilizados, de manera que sea fácil su comprensión y replicabilidad.

Para dar respuesta al objetivo establecido se procedió a evaluar la oferta de servicios y experiencia nacional e internacional de la producción geotérmica asociada a la agricultura, para lo cual se revisó literatura y realizaron reuniones con diferentes proveedores del mercado nacional y extranjeros. Se contactó y visitó a empresas que tenían experiencia con geotermia en la agricultura para conocer su experiencia y resultados.

Problemas encontrado: No se logra cumplir los plazos debido al inicio desfasado del proyecto, la cantidad de días festivos del último trimestre del año del 2015 que van retrasando en particular el contacto con los proveedores y experiencias en campo.

Si bien se había contemplado la participación de un Ing civil a honorarios este fue reemplazado por el asesor Dr. William Glassley director del California Geothermal Energy Collaborative de la Universidad de Davis en California; ello debido a la dificultad de encontrar un profesional con experiencia en análisis geotérmicos en Chile siendo este ajuste relevante para el proyecto donde visualizamos grandes oportunidades; siendo de mucha importancia los cálculos energéticos así como las simulaciones y poder contar con uno de los mejores profesionales a nivel mundial-

Se evaluó y definió 2 especies como las adecuadas para incorporar al estudio sobre la base de su importancia, rentabilidad y sensibilidad a las heladas: cerezas y melones en la provincia de Colchagua.

Se investigó respecto de estudios disponibles que den cuenta de la capacidad de producción de calor posible de alcanzar en la Región de O'Higgins entre 10 a 15 mt de profundidad para lo cual se revisó información disponible en Sernageomin, universidades y DGA existiendo escasa a nula información respecto de la geología y acuíferos de la zona de interés (Pichidegía y San Fernando), el estudio disponible sólo llegaba a Colchagua Norte. Por ello para evaluar se realizaron mediciones a nivel de campo con el apoyo del Centro de Estudios de Geotermia de Los Andes (CEGA) de la Universidad de Chile para conocer el potencial térmico de la zona a través de la medición de temperatura y profundidad de pozos





profundos de Pichidegua y San Fernando de productores relacionados con la empresa.

Con los datos obtenidos se realizaron las reuniones de trabajo en Chile y EEUU con el profesor William Glassley, geólogo PhD y Steve Miller Ingeniero Mecánico asesor de la NASA ambos profesionales contratados para el proyecto con los cuales se analizó la información obtenida, así también apoyados en registros de la helada del 2013 (adquiridos en el FDF) se estableció la cantidad de energía requerida para el control de una helada y se evaluó la factibilidad operativa para la distribución del calor generado por geotermia. El aspecto de mayor complejidad dentro del estudio por los variables ambientales no controlables como lo son: tipo de helada (advección o convección), velocidad del viento, temperaturas en altura.

Problema encontrado: Ausencia de registros del comportamiento de la heladas en Chile referido a temperatura en altura desde el nivel del suelo en la medida que evoluciona la helada. Pichidegua no dispone de estación meteorológica por lo cual se homologa a la de Santa Rosa ubicada en Peumo.

Sobre la base de la información publicada por ODEPA, Cerezas Chile y experiencia con productores se estableció los flujos del negocio de las cerezas y el cultivo del melón, así también junto con el equipo de trabajo se evaluaron costos los potenciales costos que pueda involucrar el establecimiento de la infraestructura necesaria para canalizar la energía calórica posible de obtener (anexos: Flujos)

Para el conocimiento de la Ley se procedió a contactar a personal del Ministerio de Minería y de Energía para conocer sus alcances y como logra dar cumplimiento a la Ley en estos proyectos de menor extracción.

En lo que respecta al aspecto medioambiental si bien se contacto a la autoridad se nos remitió a la Ley 19657.

Problemas encontrados: No atienden de forma personal todo a través de la página web. Se contactó de forma insistente para poder concretar reunión presencial, pero las respuestas fueron por escrito o telefónicamente lo que limita el poder abordar el detalle.





4 Descripción de las actividades PROGRAMADAS y tareas EJECUTADAS para la consecución de los objetivos, comparación con las programadas, y razones que explican las discrepancias (ANÁLISIS DE BRECHA).

Actividades programadas

- Revisión bibliográfica nacional e internacional de experiencia uso geotermia en agricultura-Realizada
- Establecimiento de la oferta tecnológica-Realizada
- Encuesta –Realizada
- Redacción de informe con resultados de la evaluación-**Realizado**

- Establecimiento de los frutales y hortalizas de mayor importancia.-**Realizado**

- Calculo requerimientos de calor para control de helada en las especies seleccionadas.-**Realizado**
- Revisión bibliográfica Capacidad térmica de la región -**Realizado**, aun cuando la información fue escasa y se debió realizar análisis en campo para completar la información y validar lo que se había conseguido que era de muchos años atrás.

- Contacto y cotizaciones de proveedores del equipamiento requerido-**Realizado**
- Usos complementarios de la energía a nivel predial y sus requerimientos.-**Realizado**

- Simulación de la instalación en un huerto estándar de las 2 especies seleccionadas.-**Realizado**

- Diseño-**Realizado**, corresponde a una propuesta, considerando la importancia de poder evaluar in situ las propiedades del suelo donde se va a instalar el sistema así como las propiedades térmicas de los materiales a usar.

- Valorización de la inversión para incorporarla a los costos productivos de las especies seleccionadas y establecer el tiempo de amortización-**Realizado (ver análisis económico)**. Las variaciones que pueda presentar respecto de la realidad se debe a lo señalado anteriormente en cuanto a la necesidad de realizar más evaluaciones, tales como: Temperatura y oscilación anual en el suelo, Conductividad térmica del suelo, Difusividad termica, Capacidad térmica. Conformación geológica. Así como disponer de información detallada del comportamiento de las heladas.





- Revisión bibliográfica de los requerimientos legales y medio ambientales-**Realizado**
- Reuniones con actores relevantes del ámbito legal y medioambiental-**Realizado** por internet y telefónico
- Informe de los requisito legales y medioambientales-**Realizado**





5 Resultados del proyecto:

descripción detallada de los principales resultados del proyecto, incluyendo su análisis y discusión; utilizando gráficos, tablas, esquemas y figuras y material gráfico que permitan poder visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.

En términos de resultados se deberá hacer un cuidadoso análisis que permita evaluar la adopción de la innovación tecnológica y la sustentabilidad de la propuesta.

Esta sección el informe se deberá abordar conforme a los siguientes aspectos:

5.1 Resultados parciales obtenidos

No aplica.

5.2 Logro de Hitos. Se deberá hacer un completo y detallado análisis y reflexión en cuanto al avance, cumplimiento o eventual atraso del hito definido para el periodo. (ANÁLISIS DE BRECHA DE HITOS)

Nº RE	Hitos críticos	Fecha Programado	% Avance a la fecha	Fecha Real Cumplimiento
1	Resultados del estudio técnico: Que a partir de una condición de baja o muy baja temperatura se pueda controlar heladas	Diciembre 2015	75%	Marzo 2016
2	Resultado informe operacional: Que la implementación de terreno sea compatible con la labor agrícola realizada	Febrero 2016	0%	Mayo 2016
3	Resultado del informe económico:	Mayo 2016	0%	Julio 2016

5.3 Actualizar análisis económico con y sin proyecto

No aplica





5.4 Análisis de impacto logrado a la fecha medido y diferenciando en al menos los siguientes aspectos: descripción y cuantificación de los impactos obtenidos, y estimación de lograr otros en el futuro, comparación con los esperados, y razones que explican las discrepancias; ventas y/o anuales (\$), nivel de empleo anual (JH), número de productores o unidades de negocio que pueden haberse replicado y generación de nuevas ventas y/o servicios; nuevos empleos generados por efecto del proyecto, nuevas capacidades o competencias científicas, técnicas y profesionales generadas.

En el proyecto se plantearon como indicadores de impacto de los cuales el número 1 y 3 no estaban señalados a medir en la propuesta, pero fueron realizado en plenitud.

1. Informe de las experiencias Nacionales e internacionales
Disponer de una revisión nacional e internacional de la experiencia con energía geotérmica y sus resultados
2. Informe técnico.
Informe que de cuenta del análisis de factibilidad técnica de control de heladas con geotermia considerando los requirements de energía para controlar una helada típica y la disponibilidad de energía termica de bajo entalpia.
3. Plano diseño de campo
Presentación de conceptos para la distribución de calor al cultivo para el control de helada, considerando 2 models de plantas, cerezos y melon.
4. Informe económico.
Informe que dé cuenta del análisis económico de la factibilidad de controlar heladas con geotermia.
5. Informe Legal y medioambiental.
Informe que dé cuenta de los aspectos legales y medioambientales a cumplir para establecer una explotación de muy baja o baja entalpía



5.4.1. Revisión bibliográfica nacional e internacional de experiencia uso geotermia en agricultura

Definición

Entalpía - se refiere al calor añadido o eliminado de un sistema a presión constante. Las unidades son joules por kilogramo (J/kg). La entalpía es una propiedad importante de los sistemas geotérmicos que se utiliza comúnmente para clasificar el "valor" de un recurso geotérmico. Permite la evaluación de la energía útil que se puede extraer de un fluido geotérmico.

Los recursos de energía geotérmica pueden clasificarse en recursos muy bajos, bajos, medios y altos de entalpía

Uso de la geotermia en la agricultura a nivel internacional

La energía geotérmica se refiere a la energía derivada utilizando el calor procedente de la Tierra. Este calor proviene de la transferencia de calor hacia el exterior del núcleo fundido del planeta y de la desintegración radiactiva de los isótopos radiactivos (como K, Rb, Th y U). El caudal medio de calor en la superficie de la corteza continental ha sido estimada de los cuales se atribuye sobre 53 mW m⁻² a la desintegración radiactiva (Glassley, 2015) de aproximadamente 87 mW m⁻². Teniendo en cuenta el área de la superficie global, este flujo de calor es equivalente a una salida de calor total de aproximadamente 44 TWT (teravatios térmica) (1 W = 1 J / s). En comparación, la Asociación Internacional de Energía estima que la energía total consumida por la actividad humana en el 2013 era 9.301 Mtep o 389 TJ (IEA, 2015) equivalente a un consumo de 12,3 TW por año.

La energía geotérmica es considerada uno de los recursos de energía renovable en crecimiento; tradicionalmente la generación de electricidad a partir de recursos geotérmicos de alta entalpía ha sido la forma de utilización más importante de la energía geotérmica, pero también ha encontrado un uso importante como fuente de calor para la calefacción residencial, para la elaboración de alimentos, para la producción agrícola, de la acuicultura y para algunos procesos industriales (Figura 1.1). En los últimos 15 años el número de instalaciones de entalpía poco profunda (<400 m) y de baja energía geotérmica ha aumentado (Cuadro 1.1).

La geotermia de baja y media entalpía está disponible en todas partes en el mundo, y los sistemas que permiten su uso es sencillo y fácil de mantener. Así, se ha reconocido como una fuente de energía importante para la agricultura en los países en desarrollo. La FAO encargó un informe sobre la situación mundial de uso de la energía geotérmica en la agricultura y la agroindustria sectores. El



informe fue publicado en 2015 (van Nguyen et al., 2015) y también proporciona directrices para el uso de energía geotérmica en los países en desarrollo.

El Consejo Europeo de Energía Geotérmica (EGEC) es una asociación internacional sin ánimo de lucro en Bruselas que representa al sector de la energía geotérmica en Europa. En un folleto publicado en 2015 (EGEC, 2015) proporcionan varios ejemplos de la utilización de la energía geotérmica para la agricultura en Europa. Gran parte de la energía utilizada por la industria agrícola es de baja y media entalpía (menos de 150°C), que se requiere en muchas etapas de la producción. Tradicionalmente se han usado los combustibles fósiles, pero los fluctuantes de precios de la energía exponen al riesgo a la industria agroalimentaria.

A nivel mundial, el uso directo de los recursos de energía geotérmica que tienen temperaturas en el rango de 10°C-150°C se puede encontrar en 82 países, de los cuales el 4,5% es para invernaderos y calefacción al aire libre, 2% para los estanques de la acuicultura y calefacción, y 0,4% para el secado (EGEC, 2015), es decir, a nivel mundial, alrededor del 7% del uso de la energía geotérmica es para la agricultura y la industria agroalimentaria. La capacidad total instalada para aplicaciones de uso directo es más de 122 TWh / año (439 TJ / año) (Glassley, 2015). En 2015, se informó de uso directo mundial de la energía geotérmica en alrededor de 587.786 TJ, de los cuales el uso estimado para invernaderos era 26.662 TJ, para calentar estanque acuícola 11.958 TJ (Cuadro 1.1).

El uso eficiente de recursos geotérmico de moderada temperatura puede ser mejorado mediante el acoplamiento de varias aplicaciones que en cascada de uno a otro, a partir de las aplicaciones que requieren temperaturas más altas y luego utilizando el calor residual para aplicaciones que requieren temperaturas más bajas. Ejemplos de estos incluyen la generación de energía eléctrica en cascada para calentar las aceras, piscinas, invernaderos y estanques de peces en Islandia (Dell, 2013), una planta de generación de energía en cascada a invernaderos en Hungría, la generación de energía en cascada al secado de la madera, invernaderos, cultivo de peces; el ambiente y la calefacción de agua caliente en Polonia, la generación de energía en cascada para la calefacción urbana, invernaderos, una fábrica de cervezas y derretimiento de nieve en Klamath Falls, Oregon, y un sistema de calefacción urbana de circuito cerrado en Canby, California, que cae en cascada a una lavandería y un invernadero (Glassley, 2015).



Figura 1.1: Diagrama Lindal de uso potencial directo (20-150 °C) y uso indirecto (150-300° C) de energía geotérmica en la agricultura y la agroindustria (EGEC, 2015).



Cuadro 1.1: Uso global directo de la energía geotérmica en TJ/año (EGEC, 2015)

	2015	2010	2005	2000	1995
Geothermal Heat pumps	325,028	200,149	87,503	23,275	14,617
Space heating	88,222	63,025	55,256	42,926	38,23
Greenhouse Heating	26,662	23,264	20,661	17,864	15,742
Aquaculture Pond Heating	11,958	11,521	10,976	11,733	13,493
Agricultural Drying	2,03	1,635	2,013	1,038	1,124
Industrial Uses	10,453	11,745	10,868	10,22	10,12
Bathing and Swimming	119,381	109,41	83,018	79,546	15,742
Cooling/ Snow Melting	2,6	2,126	2,126	1,063	1,124
Other	1,452	0,955	1,045	3,034	2,249
Total	587,786	422,875	273,466	190,699	112,441

Cuadro 1.2: Resumen de los casos de estudio de circuito abierto directo, usado en instalaciones geotérmicas para la agricultura (Fuentes: FAO, 2015; EGEC, 2015; Dell et al. (2013))

País	Aplicación	Requerimiento de energía	Descripción
Grecia	Secado de tomate	1450 kWh/ton peso neto	Agua a Temp 59°C. Túnel de 14-m x 1 m ancho x 2 m alto. Secado de lotes de 25 bandejas en 45 minutos, con 7 kg tomates crudos en cada bandeja. Instalado en 2001.
Tailandia	Secado de aji y ajo	13.3 MJ/kg-agua aji 1.5 MJ/kg-water ajo	Agua geotérmica a 80° C circula a través de un intercambiador de calor de flujo cruzado a 1 kg/s. Secador de 2.1 m de ancho del gabinete, 2,4 m de largo y 2,1 m de altura. Cada secadora tiene 36 bandejas colocadas en dos compartimentos con una capacidad total de 450 kg de aji o 220 kg de ajo. Las temperaturas del aire requeridos son 70°C durante 46 horas para el aji y 50°C durante 94 horas para los ajos.
Francia	Vinificación		Tecnología "BROTS", juntó 23 intercambiadores de calor de



Islandia Calentamiento del suelo de la zona de las raíces en horticultura 155 Wh/m²

sondeos verticales de 100 m cada uno instalado bajo la bodega, lo que representa un depósito de energía de 170.000 m³. Ellos calculan un ahorro anual de 194 toneladas de CO₂ y 30 TOE y una recuperación de la inversión de 6 años. Ahorros de costos anuales son de 15.000€ en comparación con el petróleo y el gas, y 23.000€ en comparación con la electricidad

Bomba de recirculación para hacer circular una mezcla continuamente de agua con un 20% de metanol, durante todo el año en un circuito cerrado que entrega temperaturas entre 40 a 50 C en verano y 60 a 68 C en los meses de invierno. Tubo espiral colocado a 25 cm espaciados. Los tubos se sientan en una cama de 20 a 30 cm de arena compactada, por encima del cual 10 o 20 cm de cualquiera de tierra de jardín, suelo de turba o de turba y el suelo de arena. Se extiende temporada de crecimiento por 4 semanas en los tomates. Permite la producción al aire libre de la fresa y plátano.

Mexico Secado de fruta El consumo de energía es 10 kJ/segundo a una tasa de flujo geotermal de 0,03 kg/s.

El secador es de 4 m largo, 1,35 m ancho y 2,3 m alto, con paredes de concreto, un techo de madera, y un piso de hormigón armado. Contiene dos contenedores con 30 bandejas cada uno y tiene una capacidad de alrededor de 1 tonelada de fruta por ciclo de





secado. La cámara de secado se mantiene a una temperatura de 60°C y reduce el contenido de humedad de fruta de 80% a 20% en 24 horas.
9 instalaciones.

Países Bajos	Invernadero geotérmico	100 MWth (capacidad instalado total)
--------------	------------------------	--------------------------------------

Los invernaderos son uno de los mayores usuarios de baja entalpía geotérmica en el mundo, y según el EGEN (2015) Informe de la sustitución de la fuente de combustible fósil tradicional de la energía con la energía geotérmica puede reducir los costos de energía en un 80% y los costos de operación de 5.8% (Popovski y Vasilevska, 2003). En 2015, 31 países estaban utilizando la energía geotérmica para calentar los invernaderos con Turquía, Rusia, China y los Países Bajos liderando. Ellos estiman que 1.333 hectáreas de invernaderos se están calentando con geotérmica, lo que equivale a un aumento del 16% desde 2010.

Una de las ventajas importantes de la energía geotérmica es que, si se utiliza correctamente, puede proporcionar una fuente relativamente constante y continua de calor durante todo el año, a diferencia de la energía proporcionada por energía solar y eólica que son mucho más variables. Las desventajas de la calefacción y enfriamiento geotérmico son el riesgo de reducciones importantes en la temperatura del recurso (suelo y / o aguas subterráneas), los altos costos de inversión inicial, así como, en general, la preocupación por la fiabilidad de los sistemas de energía que dependen enteramente de sólo una fuente de energía o la tecnología, han dado lugar a la calefacción y enfriamiento de los invernaderos con energía geotérmica y con colectores solares térmicos (Mehrpooya et al., 2015).

Los EE.UU., China, Islandia, Italia e Israel han llevado en el uso de la energía geotérmica para la **acuicultura**. Las aguas geotérmicamente calentadas ha permitido la producción en estanques abiertos durante todo el año. El aumento en el uso de los recursos geotermal para la acuicultura ha sido más lento que otras aplicaciones, sólo el 6,7% desde 2010, en parte debido a que requiere personal altamente especializado. Aún así, geotérmica contribuye más de 49.400 t de producción anual.

El **secado de cultivos** utilizando recurso geotérmicos de baja o media entalpía (<150°C) representa aproximadamente 161 MW al año para diversos cultivos, incluyendo cebollas y el ajo, granos y frijoles en los EE.UU., aji y el ajo en Tailandia, algas y peces en Islandia, los cereales en Serbia, los tomates y el algodón en Grecia, el arroz en la Antigua República Yugoslava de Macedonia, la madera y la fruta secado en México, Nueva Zelanda y Rumania, fruta en América





Latina, la leche y la alfalfa en Nueva Zelanda, Tabaco y maíz en Kenia , y el coco en las Filipinas (EGEC, 2015; Climo et al, 2015;. van Nyugen, 2015). También existen instalaciones para el secado de la carne, especias y azúcar (Glassley, 2015; van Nyugen, 2015).

En los Países Bajos, la industria de invernaderos se basa en el gas natural para la calefacción, que los costos de energía representan el 20-30% de los costos totales de producción. La geotermia es una tecnología relativamente nueva en los Países Bajos, pero se está mirando por la industria para reducir los costos de energía y aislarlo de los costos volátiles del gas natural. Actualmente hay 9 proyectos de explotación geotérmica en el sector de la horticultura holandesa que representan una capacidad instalada de 100 MW, mientras que se planifican 2 proyectos geotérmicos para los próximos tres años para una capacidad adicional de más de 30 MWt (EGEC, 2015). Los proyectos geotérmicos se hacen más atractivo en los Países Bajos, gracias a un marco regulatorio favorable que permite a los productores combinar los sistemas de seguros existentes para los riesgos geológicos y un sistema de apoyo basado en la competencia, alentando la producción de energía sostenible.

La industria de invernaderos en Islandia también ha utilizado la energía geotérmica para la **desinfección de suelos**, aunque el uso ha disminuido considerablemente a raíz de la creciente disponibilidad de sustratos de cultivo inertes. Se utilizan tres métodos principalmente (Gunnlaugsson et al., 2003): 1.Cuando el vapor se encuentra disponible se lleva bajo una lámina de plástico apretado, que se pone sobre las camas y se fue corriendo durante 24 horas, tiempo suficiente para desinfectar el suelo. 2.-Cuando sólo esta disponible el agua caliéntese distribuye el agua caliente a través de un tubo de acero con boquillas en el suelo. 3.-Otra forma de desinfectar terreno es en remojo con agua entre 80 a 90°C.

La **calefacción del suelo en campo abierto**, para ello se utiliza el agua geotérmica para calentar la parte superior del suelo de modo que el sistema radicular está expuesto a temperaturas más cálidas. Dell et al. (2011, 2013) describió las pruebas de dos sistemas de calefacción de suelo poco profundo para la agricultura intensiva, instalado en Reykir en 2007, y al Asbru Reykjanesbaer en 2010, respectivamente. La instalación en Reykir utiliza de 100-125°C el agua caliente de un pozo de sondeo que se canaliza a un intercambiador de calor tradicional elevado 1,5 m por encima de la superficie. Entonces, el sistema utiliza una bomba recirculación para circular una mezcla de agua y metanol al 20% de forma continua durante todo el año en un circuito cerrado que ofrece temperaturas entre 40 a 50°C en verano y 60 a 68°C en los meses de invierno. Se construyó a 5 x 10 m un jardín experimental, por debajo de los cuales cerca de 260 m de tubo en espiral y espaciado a 25 cm. Los tubos se sientan en una cama de 20-30 cm de arena compactada, por encima del cual se colocaron 10 o 20 cm de cualquiera





tipo de suelo de jardín, suelo de turba o turba y arena del suelo (se probaron tres tipos diferentes de suelo y dos profundidades). La temperatura del suelo a varias profundidades y el contenido de agua del suelo fueron controlados a largo plazo. A las 8 cm de profundidad, las temperaturas medias del suelo oscila entre 20 °C y 35 °C dependiendo de las condiciones meteorológicas y la temporada. El consumo de energía se estimó en 0,155 kWh/m² sobre la base de un 10 L/min de caudal y 12,5°C caída de la temperatura sobre el sistema. Se instaló un jardín de 16m x 6 m en Asbru que utiliza geotérmica desperdicio de agua caliente de casas. El jardín es calentada por dos sistemas de circulación de agua caliente a 40 °C y 60° C.

Hubo algunas interrupciones del sistema en Reykir debido a inconsistencias de temperatura de los pozos de vapor - problemas de sobrecalentamiento del suelo se experimentaron en varios días de invierno, con temperaturas superiores a 45°C a 10 cm de profundidad (hasta 68°C en un año). Otros fracasos se debieron a la actividad sísmica, daños por el viento y las plagas de insectos. Tomate, calabacín y pepino también se han cultivado en el jardín Reykir. Los tomates normalmente sólo se cultivan en invernaderos en Islandia. Las plantas de tomate con calefacción lograron producir más de un 176% de tomates y 63% más de peso fresco de las plantas de tomate respecto del control en camas sin calefacción en la cosecha de 2008. El crecimiento promedio de plantas en los jardines con calefacción eran 20% más que en los jardines de control sin calefacción. Las plantas de frutillas y plátano fueron cultivadas en la instalación Asbru. Las plantas de frutillas experimentaron un crecimiento acelerado con los números de elementos de duplicación durante 3 meses período de crecimiento, y las plantas de banano sobrevivieron al aire libre, mientras que una planta sin calefacción murió. Un sistema similar fue incorporado en Nueva York techos verdes utilizando el calor residual de la calefacción urbana, donde ha permitido temprana y mejores cosechas de tomate y flores en invierno. Tanto en Islandia y Nueva York, las estaciones de crecimiento se extienden por al menos 4 semanas (Dell et al., 2011).

Elaboración del vino. El EGE (2015) folleto también se presenta como un estudio de caso de la utilización de baja entalpía geotérmica por la bodega de la cooperativa Orschwiller-Kintzheim en Francia (véase el Cuadro 1.2). El vino todavía se hace de la manera tradicional, pero utiliza tanques de acero inoxidable calentado o enfriado por un sistema geotérmico. El sistema es la base de una nueva tecnología conocida como "BROTS" que se acoplan con 23 intercambiadores de calor de sondeos verticales de 100 m cada uno instalado bajo la bodega, lo que representa un depósito de energía de 170.000 m³. Ellos calculan un ahorro anual de 194 toneladas de CO₂ y 30 TOE y una recuperación de la inversión de 6 años. El costo total de la bodega recientemente renovado era 6M € (antes de impuestos), incluidos los costos de la bomba de calor, BROTS, tanques de agua caliente, intercambiador de calor, SGC, coleccionistas, glicol y el edificio (que este último representaba el 6% del total costos) y que sus ahorros de





costos anuales son de 15.000 € en comparación con el petróleo y el gas, y 23.000 € en comparación con la electricidad.

Riego con agua tibia a partir de agua geotérmica caliente para regar plantas con la temperatura del agua que no causen estrés por frío. En el sur de Túnez, los recursos de agua geotérmica están disponibles a temperaturas de 60-80°C y considerados un importante recurso para el riego de cultivos. Las torres de enfriamiento son necesarios para reducir la temperatura del agua y así obtener una temperaturas adecuadas para el riego (Bourouni et al., 2010).

Cultivo de Spirulina. Esta alga es rica en hierro y proteínas, y el mercado de está creciendo. La producción de la alga en ambientes protegidos utilizando la calefacción geotérmica ha dado cultivos de alta calidad y consistentes.

Uso de la geotermia en la agricultura nacional

Se ha establecido como proyectos geotérmicos ligados a la agricultura todos aquellos relacionado de empresas agrícolas que han incorporado la tecnología.

La revisión se realizó tanto por registros escritos, internet y contacto directo con empresas proveedoras de proyectos de ingeniería; la mayoría de los proyectos han sido orientados a la minería para producción de electricidad, edificios, hoteles y colegios para calefacción de ambientes. Los productores agrícolas mayoritariamente desconocen la tecnología y los que la conocen la encuentran cara para la rentabilidad de sus negocios. Diferente situación enfrenta las empresas agrícolas y forestales de mediano y gran tamaño que pueden financiar sus propios proyectos, pero aun así los trabajos son recientes y escasos.

1 Proyecto: Desarrollo de un sistema de climatización para producción de especies forestales

Empresa proyectista: VOHER Ingeniería Eficiencia Energética

Cliente: Forestal Arauco

Descripción: Instalación de una bomba de calor aerotermia y calefaccionar 1 ha de invernadero de plantas de pino y eucaliptus

Potencia: 700 kW

Fuente térmica: Aire de galpones madereros y exterior

Costo proyecto: En proceso diseño y valorización

2 Proyecto: Sistema de recuperación calor frigoríficos para bomba de calor geotérmica

Empresa proyectista: E Nativa

Cliente: Unifrutti S.A., Linderos. Santiago

Descripción: Instalación sistema hidrotérmico con bomba de calor agua-agua para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en las duchas de camarines y





casino de planta de proceso de fruta fresca en Linderos, para reemplazar las calderas a gas licuado

Potencia: 24 kW potencia térmica

Fuente Térmica: Piscina de 30 m³ receptora de aguas de enfriamiento de equipos frigoríficos (Temperatura promedio verano 25°C, invierno 15°C)

Estado del Proyecto: Realizado. En operación desde Marzo 2012 a la fecha.

3 Proyecto: Calefacción central oficinas sistema Aerotérmico

Empresa: E Nativa

Cliente: Viña Viu Manent, Placilla, O'Higgins (Proyecto FIA)

Descripción: Instalación sistema Aerotérmico con bomba de calor aire-agua, y combinación de radiadores y fan coil para calefacción y enfriamiento de oficinas edificio de 2 plantas y 200 m²

Potencia Bomba de calor: 1 Bomba de calor de 30 kW de potencia térmica

Fuente Térmica: Aire de galpones cavas

Estado del Proyecto: Realizado. En operación desde Julio 2015.

4 Proyecto: Instalación sistema geotérmico con bomba de calor agua-agua para hacer circular través de tuberías de cobres en camas de cultivos hidropónicos

Empresa: E Nativa

Cliente: Abdo Fernández, FIA (Proyecto FIA)

Descripción: Instalación sistema geotérmico con bomba de calor agua-agua para la calefacción de 270 m² de invernadero, más la producción de agua caliente para hacer circular ésta a través de tuberías de cobres en camas de cultivos hidropónicos

De acuerdo a la reunión sostenida con el empresario no se logró calefaccionar el invernadero por problemas de aislación

Potencia Bomba de calor: Dos bombas de calor de 7,5 kW de potencia cada una

Fuente Térmica: Agua de pozo

Estado del Proyecto: Realizado, Agosto 2013. Actualmente no está en funcionamiento ya que no se han reconstruido las instalaciones.

Establecimiento de la oferta tecnológica

Ensamblamos una lista de 30 empresas instaladores de sistemas geotermicas y GHPs (geothermal heat pumps) en EE.UU. y de 13 empresas de proyectos y





distribuidoras de equipos en Chile con datos de contacto (correo electrónico, dirección, URL), que fueron identificadas desde la base de datos de La Cámara Chilena Alemana de Energía (CAMCHAL), ACHEGEO A.G. asociación gremial de geotermia, del Registro de Exploraciones Geotérmicas del Servicio Nacional de Geología y Minería y búsqueda en internet.

Ver Anexo 1.

Encuestas

Se realizó encuesta a empresas que cuentan con sistema geotérmico para conocer su experiencia y desviaciones de sus proyectos así como propuestas de mejora. **Ver Anexo 2**





5.4.2. Establecimiento de los frutales y hortalizas de mayor importancia

Para establecer los frutales y hortalizas de mayor importancia, se consideró un conjunto de factores:

- a) la superficie plantada en la región de O'Higgins, por su importancia económica
- b) temperatura crítica según el cultivo y estado fenológico, que hace menos o más riesgoso el cultivo.
- c) la situación de temperaturas mínimas registradas durante los últimos 10 años acogiendo la recomendación de la Organización Mundial de Meteorología (OMM, www.wmo.int) que establece 10 años como el período mínimo para estudios climatológicos; en este periodo encontramos 2 heladas de importancia: la helada del 2007 y el 2013; así como fenómenos climáticos como el niño y la niña.

Superficie plantada de frutales y hortalizas en la región de O'Higgins

La región de O'Higgins es la principal zona frutícola y tercer lugar hortícola de Chile, de acuerdo a las estadísticas generadas por ODEPA, CIREN y el catastro SAG de viñas, por grupo de especies cuenta con una superficie plantada de vides 57.206 ha, carozos 26.739 ha y de pomáceas de 13.827 ha (Cuadro 2.1, Cuadro 2.2).

En cuanto a las hortalizas, O'Higgins ocupa el tercer lugar después de la región Metropolitana y Maule; con una superficie total de 10.355 ha (Fuente: Encuesta ODEPA, . 2013) de las cuales las principales especies plantadas el año 2013 fueron las cebollas de guarda, melón, zapallo ,cebolla temprana ,sandia y tomate (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.1: Superficie (ha) agrupadas por grupo de especies plantadas en O'Higgins

Especie	Has totales
Vides	57,204.48
carozos	26,739.00
pomaceas	13,827.37
Total Ha	97,770.85

Fuente: ODEPA y SAG (2014)





Cuadro 2.2: Superficie (ha) de frutales y viñas plantadas en la región de O'Higgins

Especies	Ha - 2008
almendros	2,780.31
cerezos	4,967.51
círuelos (japones y europeo)	10,860.03
duraznos (fresco y conserva)	7,395.79
kiwis	4,032.61
manzanos (verde y rojo)	10,243.75
nectarinos	3,515.67
vid de mesa	13,824.48
perales (europeo y asiático)	3,583.62
arandano americano	875.2
olivo	3,971.82
palto	1,701.87
limonero	686.71
vid vinífera	43,380
Total Ha	111,819.37

Fuente: ODEPA y SAG (2014)

Cuadro 2.3: Principales especies cultivadas (ha) en O'Higgins

Especies	O'Higgins
cebolla de guarda	1,573
Melon	1,500
cebolla temprana	1,445
Zapallo temprano y de guarda	1,446
Choclo	1,445
Sandía	1,125
Tomate consumo fresco	1,018
TOTAL ha	9,552

Fuente: INE (2013)

Temperatura y sensibilidad de las plantas (frutales y hortalizas)

Definiciones

Helada Meteorológica: Se considera helada meteorológica cuando la temperatura del aire existente a 1,50 m del suelo desciende a un valor igual o inferior al punto de congelamiento del agua, es decir, a 0,0°C, independiente de su duración o intensidad.

Helada agronómica: aquella helada en que el descenso de la temperatura del aire a niveles críticos para los cultivos ocurre sin llegar necesariamente a 0°C.

Antes que todo es importante señalar que el efecto de una helada sobre el árbol o planta depende de varios factores dentro de los que destacan:

El cultivo mismo: la especie, variedad, edad, estado fenológico, fitosanidad del cultivo (plantas sanas confieren mayor resistencia), factores anatómicos (la pilosidad y el grosor de la cutícula foliar otorgan resistencia al frío), factores fisiológicos (azúcares solubles ayudan a la resistencia al frío), así como las





variaciones en las bacterias INA (concentraciones de bacterias nucleadoras de hielo).

De la helada: Intensidad, duración, velocidad de congelamiento/descongelamiento (a mayor velocidad, mayor peligro).

El daño por heladas ocurre cuando se forma hielo dentro del tejido de las plantas, dañando sus células. Puede ocurrir en las plantas anuales (cultivos para ensilado o forrajes de gramíneas y leguminosas; cereales; cultivos para aceite o de raíces; horticolas; y cultivos ornamentales) multi-anuales y perennes (árboles frutales caducifolios y de hoja perenne).

Si bien y de acuerdo a lo antes señalado el daño puede tener diferente severidades en la planta no obstante, el daño en sí mismo se produce cuando se forma hielo al interior de la planta y destruye los tejidos de ésta. Congelamiento o helada intracelular: Daño directo causado por la formación de cristales de hielo en el protoplasma de la célula y Congelamiento o helada Extracelular: Daño indirecto cuando el hielo se forma en el espacio extracelular (Martínez et al. 2007).

Se señala que la congelación del agua en los tejidos no es en sí lo que produce el daño lo que realmente daña las plantas no son las temperaturas frías sino la formación de hielo (Westwood, 1978). Se cree que la formación de hielo intracelular causa una “ruptura mecánica de la estructura protoplásmica” (Levitt, 1980). Por su parte Baldini (1992) señala que la salida del agua desde las células es la causante del daño, pues la congelación ocurre preferentemente en los espacios intercelulares. La deshidratación lleva a la ruptura de las membranas celulares, las que no pueden recuperarse provocando la muerte de las células y del tejido completo.

Los vegetales no son sensibles por igual en todas sus fases de desarrollo. La combinación de los factores anatómicos y fisiológicos hace que algunos estados sean especialmente sensibles, tal es el caso de la floración, la cuaja y el estado de fruto pequeño, donde una temperatura de $-2,5^{\circ}\text{C}$ puede producir importantes reducciones en la producción. En la fase invernal de yema en reposo, la mayoría de los frutales toleran bien temperaturas de $-1,5^{\circ}\text{C}$ sin daño aparente. Durante la fase de brotación y fructificación, bastan temperaturas menores a 0°C para que el daño sea considerable.

Las plantas se agrupan en cuatro categorías de sensibilidad a la congelación:

1.-Las plantas frágiles son aquellas que no han desarrollado la evitación de la congelación intracelular (e.g. muchas plantas tropicales).





2.-Las plantas ligeramente resistentes incluyen muchos de los árboles frutales subtropicales, árboles caducifolios, y cultivos hortícolas que son sensibles al enfriamiento hasta los -5°C .

3.-Las plantas moderadamente resistentes incluyen aquellas que pueden acumular suficientes solutos para resistir el daño por heladas hasta temperaturas tan bajas como -10°C , principalmente evitando el daño por deshidratación, pero son menos capaces de tolerar temperaturas más bajas.

4.-Las plantas muy resistentes son capaces de evitar la congelación intracelular así como de evitar el daño debido a la desecación de las células.

Frutales

Según diferentes fuentes, los valores críticos de temperaturas que causan daño a los frutales presentan variaciones tal es el caso de la publicación de Murray de la Universidad de Utah, EEUU el año 2011, Bruno Razeto en Chile el año 1999 y Santibañez y Uribe (2001) (Cuadros 2.4, 2.5, y 2.6), ello debido a que las condiciones en las cuales se han obtenido son en laboratorio, por tanto se debe usar factores de corrección de seguridad adicionales de los valores publicados de Temperatura crítica en particular cuando se usará un sistema de control de heladas. La cantidad de daño por helada aumenta con la caída de temperatura y la temperatura correspondiente a un nivel específico de daño se denomina "Temperatura crítica" o "Temperatura crítica de daño", y se expresa por el símbolo TC.

En muchas de estas tablas, se proporcionan los valores T10 y T90, donde T10 y T90 son las temperaturas donde el 10% y el 90% de la producción comercial es probable que sea dañada. Generalmente, las dos temperaturas T10 y T90 aumentan con el tiempo después del desarrollo inicial de las yemas hasta el estadio de fruto pequeño, que es cuando los cultivos son más sensibles a la congelación (Cuadro 2.4).



Cuadro 2.4: Temperaturas críticas según estado fenológico (°F y °C) en frutales
porcentaje de daño 10% y 90%

CEREZAS	°F	°C
	10%	10%
Yema hinchada	17	8.3
Puntas verdes	25	-3.88
boton cerrado	26	-3.33
boton blanco	27	-2.77
Inicio de floracion	28	-2.22
Plena flor	28	-2.22
post floracion	28	-2.22
	90%	90%
Yema hinchada	5	-15
Puntas verdes	14	-10
boton cerrado	17	-8.33
boton blanco	24	-4.4
Inicio de floracion	25	-3.88
Plena flor	25	-3.88
post floracion	25	-3.88

DURAZNOS Y NECTARINES	°F	°C
	10%	10%
yema hinchada	18	7.77
caliz verde	21	-6.11
caliz rojo	23	-5
Inicio boton rosado	25	-3.88
inicio floracion	26	-3.33
plena flor	27	-2.77
post floracion	28	-2.22
	90%	90%
yema hinchada	1	-17.22
caliz verde	5	-15
caliz rojo	9	-12.77
Inicio boton rosado	15	-9.44
inicio floracion	21	-6.11
plena flor	24	-4.44
post floracion	25	-3.88

CIRUELO	°F	°C
	10%	10%
yema hinchada	14	-10
Side White	17	-8.33
Puntas verdes	20	-6.66
boton cerrado	24	-4.44
inicio boton	26	3.33
inicio floracion	27	-2.77
plena flor	28	-2.22
post flor	28	-2.22
	90%	90%
yema hinchada	0	17.77
Side White	3	-16.11
Puntas verdes	7	-13.88
boton cerrado	16	-8.88
inicio boton	22	-5.55
inicio floracion	23	-5
plena flor	23	-5
post flor	23	-5

Fuente: Murray, Utah State U. (2011)

Cuadro 2.5: Temperaturas críticas de frutales en diferentes estados fenológicos

Especie	yema/boton	flor abierta	cuajado
almendro	-3.5	-3	-1
cerezos	-3	-2	-1
ciruelo europeo	-5	-3	-1
ciruelo japones	-4	-2	-1
damasco	-4	-2	-0.5
durazno y nectarin	-4	-3	-1.5
kiwis	-1	-0.5	-0.5
manzanos	-4	-2	-1.7
vid	-1	-0.5	-0.5
nogal	-1	-1	-1

Fuente: Razeto, U. Chile (1999)

Cuadro 2.6: Temperaturas críticas para el desarrollo del ciruelo, vid y cerezos.

Especie	T° Crítica	Receso	brotacion	puntas verdes	inicio de floracion	plena flor	frutito cuajado	crecimiento fruto
Ciruelo	°C	-22	-9	-6	-3	-2.5	-1.1	-2
Vid	°C	-15	-4	-2	0	0	0	-2
Cerezos	°C	-20	-8	-6	-1.7	-2.5	-1.1	-2

Fuente: Santibáñez y Uribe (2001)

Hortalizas

Las hortalizas son un grupo variado de vegetales de diferentes hábitos de crecimiento que crecen en periodos o estación fría (otoño-invierno) y cálida (primavera-verano), presentando diferentes sensibilidades a las heladas. Tal como ocurre con los frutales existen diferentes temperaturas críticas según autor y también debe ser considerada con resguardo utilizando la más sensible (Cuadros 2.7 y 2.8).

Como especies que no toleran las heladas están: albahaca, maíz, **melón**, papa, pepino, pepino dulce, pimienta, poroto verde y granado, sandía, tomate, zapallo, zapallo italiano.

Así también hay hortalizas que se ven afectadas por heladas cuando están en cosecha: alcachofa, apio, arveja, coliflor, haba, lechuga.

Como especies tolerantes a las heladas se puede mencionar: ajo, cebolla, cebollines, chalotas y puerro.

Especies que toleran heladas débiles, acelga, betarraga, espinaca, brócoli, rábano, repollito Bruselas, zanahoria.

Cuadro 2.7: Cultivos anuales, temperaturas críticas según estado fenológico

Especie	Fase sensible	Temperatura crítica
Aji	emergencia a floracion	0
alcachofa	cabeza pequeña	-1
arveja	floracion	-2
esparrago	periodo vegetativo	-1
poroto	emergencia a floracion	0
habas	floracion	-1
lentejas	floracion	-1
maiz	4ta hoja visible	-1
maravilla	6 a 8 hojas verdaderas	-1
melon	Todo el periodo	0
papas	Hojas	-1
pimenton	Todo el periodo	0
tomates	Todo el periodo	-0.5
zanahoria	Follaje	-4

Fuente: Curihuinca (2010)

Cuadro 2.8: Temperaturas críticas en diferentes especies anuales

Especie	Fase sensible	Temperatura crítica (°C)
Aji	Emergencia a floración	-0,7
Alcachofa	Cabeza pequeña	-1,2
Arveja	Floración	-0,6
Espárrago	Periodo vegetativo	-0,6
Poroto	Emergencia a floración	-0,6
Habas	Floración	-0,6
Lentejas	Floración	-2,0
Maíz	4ta hoja visible	-0,6
Maravilla	4 a 6 hojas verdaderas	-2,0
Melón	Todo el periodo	-1,0
Papas	Hojas	-0,8
Pimentón	Todo el periodo	-0,7
Tomates	Todo el periodo	-0,5
Zanahoria	Follaje	-1,4

Fuente: Snyder y Melo-Abreu, capítulo 4 (2005)

Temperaturas críticas durante los últimos 10 años

Tipos de heladas

Especialistas en Chile tales como Martínez (2007) y Yuri (1991) señalan que las heladas por advección y heladas por radiación son la causa de temperaturas bajo 0°C en la zona central del país. La Dirección Meteorológica de Chile se refiere a tres tipos de heladas: 1.-Advección, 2.-Convección y 3.-Evaporación además de la helada mixta a las cuales nos referiremos según la definición otorgada por la Dirección Meteorológica de Chile, subdirección meteorología agrícola el año 2011, debido a que es ésta institución en Chile quien alerta y monitorea las heladas.

Otras definiciones están dadas por la época en que se producen: Primaverales o tardías, Otoñales o tempranas y heladas invernales; así como el efecto visual: Helada blanca y helada negra.

Para efecto de este estudio nos concentraremos en la clasificación meteorológica

Heladas por Advección

Producida por una invasión de masas de aire frío provenientes del polo, las cuales traen consigo condiciones de baja humedad y temperaturas polares; que cubren vasta superficie y tanto a nivel de suelo como en altura (50 m) la temperatura es muy similar. Temperaturas bajas todo el día y velocidad del viento superior a 10 km/hr.

Este tipo de heladas es menos frecuente en el país, pero cuando ocurre causa los mayores daños en la fruticultura, debido a que provoca un descenso muy acelerado de la temperatura y por un tiempo más prolongado que las heladas de radiación.

Estas heladas pueden ocurrir en cualquier momento en primavera, el que puede coincidir con el período de floración y cuaja de la mayoría de las especies frutales. Son frecuentes en Europa pero raras en Chile (Santibañez y Merlet, 1987).

Helada de Radiación

Es aquella que ocurre por la pérdida de calor radiativo, ocurre en condiciones de baja humedad del aire, en noches claras, sin nubes y en ausencia de viento, lo que permite que ondas largas calóricas del suelo se escapen hacia la atmósfera en forma de radiación; lo anterior se produce en condiciones anticiclónicas post-frontales preferentemente en Chile se registran entre los meses de junio-agosto.

El suelo al perder calor, enfría más rápidamente la capa de aire en contacto con él, que aquellas ubicadas a mayor altura, lo que se conoce como inversión térmica. Se puede señalar que la pérdida nocturna de calor en estas heladas de una hectárea es de alrededor de 1.000 kW es decir, equivalente a la combustión de 100 kg de petróleo por hora. A la salida del sol, este comienza nuevamente a enviar su energía, lo que hace que la superficie se caliente durante el día (Santibañez y Merlet, 1987).



El rocío presente en el suelo y sobre las plantas se congela debido a la baja de temperatura, produciendo abundante escarcha, de ahí que este fenómeno se conozca como *helada blanca*.

Heladas Mixtas

Más que un tipo de heladas propiamente tal, las denominadas heladas mixtas corresponden a una etapa de transición entre la invasión de aire muy frío e inestable y el reestablecimiento de las altas presiones que conduce a la subsiguiente estabilidad de la masa en cuestión. De acuerdo a lo anterior, se puede aducir que la etapa inicial de una helada mixta se produce cuando en una determinada región, después de haber sido invadida por una masa de aire muy frío (generalmente polar), se despeja el cielo y permite un enfriamiento adicional (presencia de masa fría + pérdida de calor por radiación desde la superficie terrestre), comenzando recién a generarse una inversión térmica por subsidencia, que por aún muy débil, no permite que la helada sea combatida con efectividad. En la medida que pasa el tiempo, la masa de aire comienza a modificar sus características iniciales, tornándose cada vez menos fría, mientras que por otra parte, la inversión térmica subside cada vez más, dando lugar a la posibilidad de iniciar un control más efectivo.

Helada de Evaporación

A veces la literatura cita este tipo de heladas y se produce al evaporarse el agua depositada sobre las plantas, con el consiguiente enfriamiento al ser absorbido del aire el calor latente necesario para la evaporación. Si después de una precipitación desciende la humedad relativa del aire, lo que es frecuente después del paso de un frente frío, el agua que recubre los vegetales se evapora rápidamente. La intensidad de estas heladas depende de la cantidad de agua que se evapora, de la temperatura del aire y de la humedad relativa.

Registros de heladas

Respecto de la última gran helada registrada en septiembre del 2007, la región de O'Higgins fue la más afectada de Chile con 4.302 ha casi el doble de la región de El Maule que fue la segunda con más daño y 2.662 ha comprometidas.

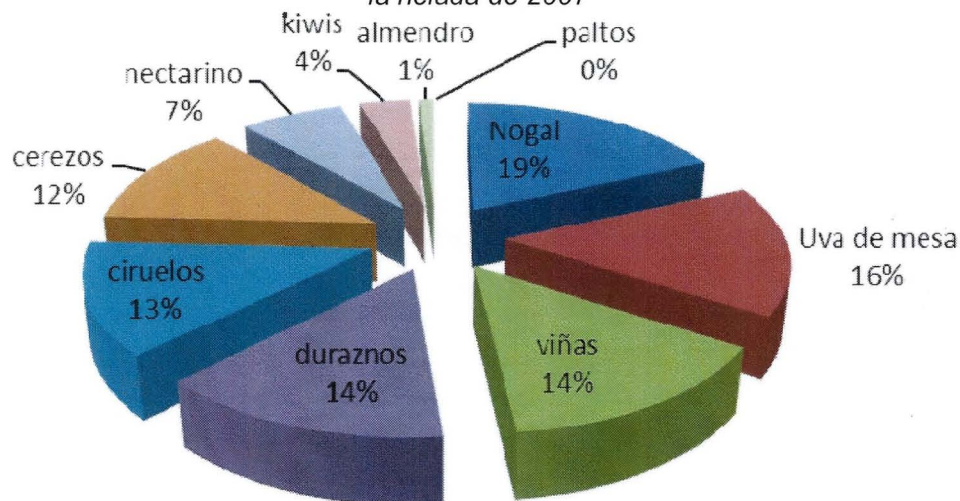
En cuanto a especies y hectáreas se vieron afectados: Nogales, las vides (vino y de mesa), seguido de duraznos, ciruelos y cerezos (Figura 2.1). Importante destacar que cada uno de éstas en diferentes grados de severidad independiente de la superficie afectada, aspecto dado por la sensibilidad y el estado fenológico en que se encontraba; sin embargo visto que el nivel de daño es de difícil evaluación se considera la superficie afectada por la helada como lo relevante.

Importante destacar que la región de O'Higgins del punto de vista agrícola presenta toda la gama productiva nacional ello debido a que de acuerdo a la conformación geofísica de la región presenta todas las unidades morfológicas que



caracterizan el relieve chileno (Curihuinca, 2010); cuenta con 14 estaciones (Cuadro 2.9).

Figura 2.1: Distribución porcentual de la superficie de la región de O'Higgins afectada por la helada de 2007



Fuente: Bascope, A. J. (2013)

Cuadro 2.9: Registro y ubicación de las estaciones meteorológicas en la región de O'Higgins

Region	Estacion	Latitud (S)		Longitud (Oe)		Elevacion
Libertador Bernardo Ohiggins	Graneros	34°	03'	70°	42'	486
	Machali	34°	12'	70°	40'	620
	Parron	34°	16'	70°	40'	692
	Totihue	34°	19'	70°	47'	460
	Quinamavida	34°	12'	70°	59'	309
	Los Choapiños	34°	20'	70°	50'	300
	Quinta Tilcoco	34°	21'	70°	57'	265
	San Vicente TT	34°	26'	71°	05'	215
	La Rosa	34°	19'	71°	15'	140
	Sn Fernando Esc Agrícola	34°	36'	70°	58'	350
	Chimbarongo, San Benito	34°	43'	71°	01'	314
	Colchagua	34°	06'	71°	45'	296
	Hidango, INIA	34°	06'	71°	47'	296
	Paredones	34°	38'	71°	53'	66

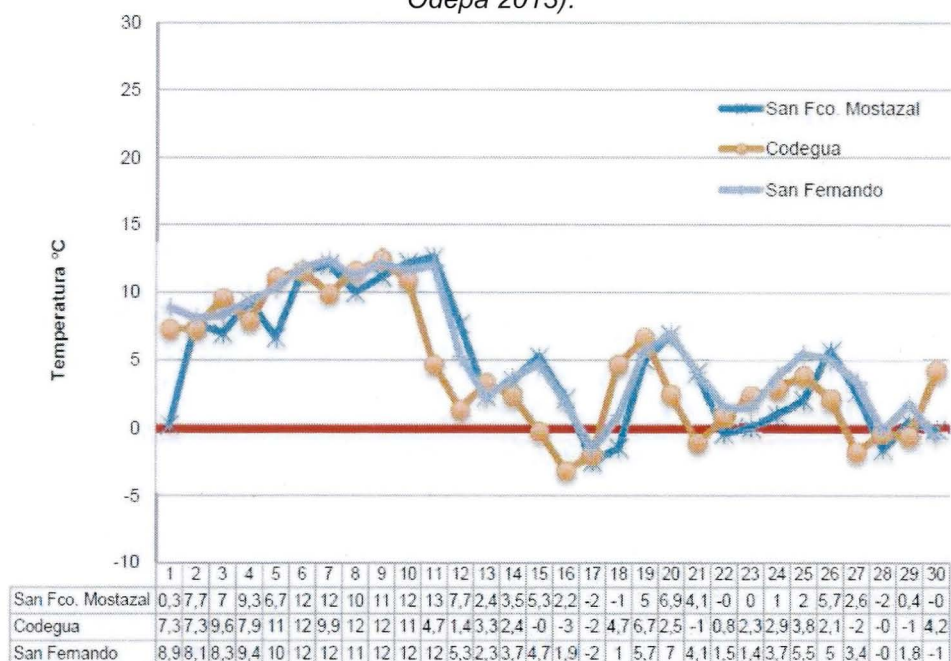
Fuente: www.agroclima.cl

Sobre la base de la definición de helada meteorológica, en la región de O'Higgins se presentaron durante el periodo 2006 al 2015 año un rango entre 2 a 56 eventos con temperatura bajo los 0°C con predominio en los meses de mayo, junio, julio y agosto y durante septiembre los meses de septiembre entre 1 a 4 eventos.

El año 2013 se registraron 2 eventos de heladas que se inició con el ingreso de una masa de aire frío y cielos despejados el día 16 de septiembre, afectando desde Coquimbo a Bio Bio y se mantuvieron por casi 14 días. Según las clasificaciones establecidas por el NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) en Estados Unidos, se trataría de un fenómeno post "La Niña", y que condujo a una etapa "neutra negativa" en la temperatura del mar que de acuerdo a la carta sinóptica del día 16, se trataría de una "helada advectiva"; registrándose entre 3 y 7 noches con temperaturas bajo cero en la región de O'Higgins con temperaturas que oscilaron entre los -3.8 a -1°C con una duración desde 2 horas 45 minutos hasta 6 hrs 30 minutos (DMC, 2013).

El año 2007, dependiendo de la estación meteorológica se registraron entre 15 a 56 heladas temperaturas de hasta -6°C, según la estación; con 1 a 2 heladas durante el mes de septiembre de acuerdo a ONEMI estas se produjeron debido a la incursión de mayor frecuencia de masas de aire frío proveniente de latitudes subpolares hasta el norte chico (advección).

Figura 2.2: Temperaturas mínimas diarias septiembre 2013 región de O'Higgins (Fuente: Odepa 2013).



Fuente: www.agroclima.cl



Conclusiones

Sobre la base de los antecedentes antes expuesto se considera como especies de mayor importancia para el control de heladas por la superficie, temperatura crítica y registros de temperaturas en los últimos 10 años:

- **Vid** con 13.824 ha (vid de mesa y vino: 57.204 ha)
- y en hortalizas el **Melón** con 1.500 ha con una temperatura crítica de 0,0°C
- seguido de **Tomates** con una superficie de 1.018 ha y T_C de -0.5 durante todo el período

Deberá ser discutido con el equipo de trabajo la opción de incluir en reemplazo de la uva de mesa los **Cerezos** que se había propuesto inicialmente visto que es: A) la primera especie a cosechar en la región, B) genera importante puestos de trabajo, C) es el primer producto de exportación de Chile lo que permite posicional en el mercado internacional el nombre del país con los recibidores, y D) Alto ingreso por hectárea. Particularmente el cerezo tiene en O'Higgins 4.967 ha.



5.4.3. Informe Técnico

Requerimientos de calor para control de helada

Se estimarán los requerimientos de calor basado en una revisión de la literatura práctica del control de heladas, soportado por cálculos del consumo de combustibles por los métodos tradicionales usando quemadores para el control de helada en Chile.

Supuestos:

Temperatura dry-bulb de una helada radiativa "típica" moderado: entre -0.5 a -2 °C

Temperatura dry-bulb de una helada "típica" severo: -4 °C

Temperatura de aire constante en la zona de la planta

Viento: hasta 1 m/s

Meta: Mantener una temperature de 2°C por encima de la temperature critica [Diaz (1971) recomienda 2°C para que la planta no se consume las reservas energeicas que tal vez se necesitera adelante].

Temperatura critica cerezos -1 °C

Meta: mantener 1°C (a subir $+5$ °C en caso severo, $+3$ °C en caso moderado)

Cerezos: altura de vegetacion 3 m

Temperatura critica melon 0°C

Meta: 2°C (a subir $+6$ °C helada severo, $+4$ °C helada moderado)

Melon: altura de vegetacion 0.5 m.

Segun Tassara (2005) en noches claras, cuando la temperature es de 0°C, las pérdidas energéticas por radiación que se producen en un ambiente vegetal son de 900.000 kCal/ha/hr. Segun Diaz (1971) sean entre 700.000 a 1.000.000 kCal/ha/hr. Los rangos dependen además en la intensidad de inversión de temperature (temperature vs altura) y la altura de la vegetación. Las pérdidas son mas altas en frutales que en hortalizas. Un caso documentado basado en mediciones al nivel del predio indicó pérdidas en citrus durante una helada tipica *radiativa* en California de -18 W/m² o cerca 155.000 kCal/ha/hr (Snyder, 2000) significantamente menor que los valores indicado por la literatura práctica que no indica cuanto se pierde sino cuanto se pone en energía para un control de helada de este tipo, esto se explicaría porque los valores de Diaz y Tassara incluyen tambien la energía perdida por ineficiencias en la distribución del calor, eso explica en parte la gran diferencia con el balance energética hecho en un huerto de solo -18 W/m² perdidas por radiación.

Otro supuesto en nuestro análisis, es que podemos realizar la distribución de calor en un sistema basado en la geotermia con eficiencias similares a las que actualmente se usan en campo. Es así que, adoptamos 900.000 kCal/ha/hr pérdidas energéticas por radiación en cerezos y 850.000 kCal/ha/hr en melon.

Las pérdidas por convección dependen en la velocidad de viento y la diferencia en temperatura que se necesita producir (Cuadro 3.1) por su parte Díaz (1971), habla de rangos típicos que van desde 300.000 a 2.000.000 kCal/ha/hr de pérdidas por convección; alcanzando en términos generales un orden de magnitud cercano, lamentablemente el origen de sus cálculos no está evidenciado.

Cuadro 3.1 Pérdidas energéticas por convección (Fuente: Tassara, 2005)

PÉRDIDAS POR CONVECCIÓN (Kcal /ha/h)							
Higrometría: 100 % HR							
$\Delta T^{\circ}\text{C}$							
Viento (m/seg)	1	2	3	4	5	6	7
0	16.000	32.000	48.000	64.000	120.000	160.000	200.000
1	345.600	691.200	1.036.800	1.382.400	1.728.000	2.073.600	2.419.200
2	691.200	1.382.400	2.073.600	2.764.800	3.456.000	4.147.200	4.838.400

Cuadro 3.2. Pérdidas energéticas por déficit de humedad en caso de riego por aspersión (Fuente: Tassara, 2005).

COMPENSACIÓN POR DÉFICIT DE HUMEDAD (Kcal /ha/h)			
Higrometría: HR %			
Viento (m/seg.)	90 %	80 %	70 %
0	1.672	3.344	5.434
1	63.536	127.490	191.026
2	127.490	254.980	382.052

En el caso de riego por aspersión, también hay que considerar las pérdidas en energía por evaporación (Cuadro 3.2), que consideramos para obtener un estimación de requisitos de energía conservadoras. Díaz (1971) indica valores típicos entre 500.000 a 600.000 kCal/ha/hr. Superiores a los planteados por Tassara.



En el cuadro 3.3. consolidamos la información disponible de diferentes fuentes, que está de acuerdo entre sí y que de acuerdo a nuestro conocimiento y cálculos se acerca más a la realidad, esta información está basada en experiencia práctica de los requerimientos para una helada típica, moderada de hasta -2°C (helada radiativa) son cerca de 100 W/m^2 , mientras una helada típica severa requerirá hasta 345 W/m^2 .

Cuadro 3.3. Balance total

kCal/ha/hr [W/m²]	Cerezo	Melon
<i>Perdidas por irradiación</i>	900.000 [104,6]	850.000 [98,8]
<i>Perdidas por convección</i>	2.073.600 [241,0]	1.728.000 [200,8]
<i>Perdidas por déficit de humedad</i>	191.026 [22,2]	191.026 [22,2]
SubTotal irradiación mas convección	3.073.600 [345,6]	2.628.000 [299,6]
TOTAL	3.264.626 [377,8]	2.819.026 [321,8]

1 kCal = 4184 J 1 Wh = 0.86042 kCal

Por comparación, según Martínez et al. (2008) para el control de helada radiativa utilizando quemadores se recomienda el uso de 125 unidades por hectárea; cada quemador consume 3 litros de diesel por hora (valor energética de diesel: 2.3 kW h por Lt). Así el control de una helada que dura 8 horas por quemadores es 6.990 kW hr por hectarea, equivalente a llevando 86.2 W/m^2 durante el periodo de la helada, un valor menor, pero similar a los estimaciones presentadas en el Cuadro 3.3 con un valor cercano a los 100 W/m^2 por irradiación.

La Capacidad Térmica de la Región de O'Higgins

Se identifico dos áreas de la Región de O'Higgins donde se enfocara el estudio del control de heladas por su importancia (1) para la producción frutícola en Colchagua entre UTM zona 19S 297.000 m E a 330.000 m E, 6.150.000 m N a 6.175.000 m N, (2) para la producción de hortalizas en Cachapoal entre 289.000 m E a 332.000 m E, 6.180.000 m N a 6.200.000 m N (Figura 3.1).

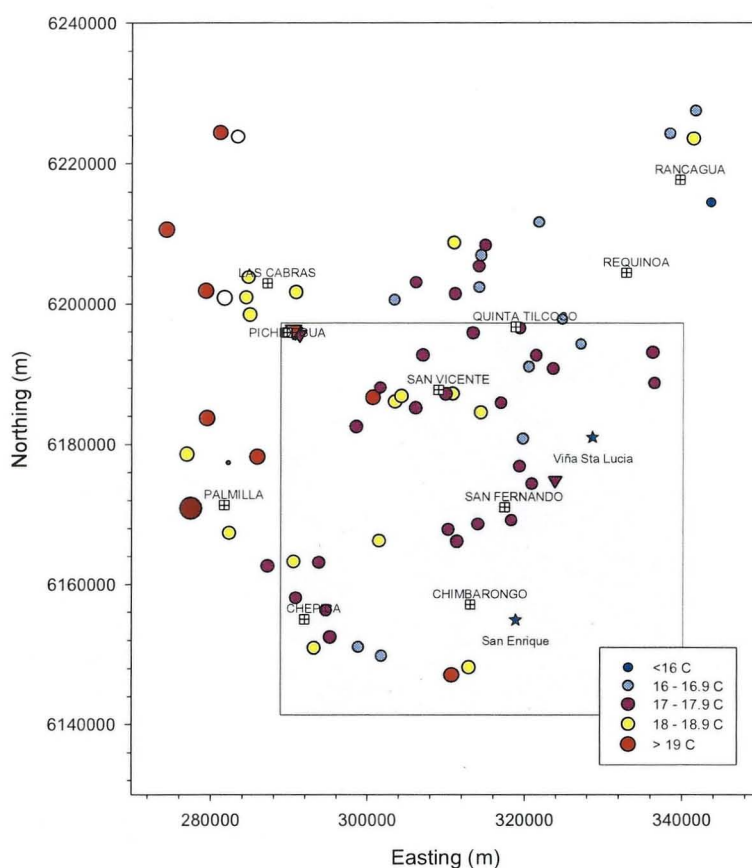
Para poder estimar el tamaño del recurso, se buscó datos de la hidrogeología de la zona y datos de agua subterráneas y pozos. Se visitó la biblioteca de Sernageomin en Santiago y solicitamos informes y mapas de la hidrogeología y pozos de la Región. Las estimaciones más precisas que se pueden obtener usando modelos son basados en datos de temperaturas de los acuíferos y termas (Comunicación personal, Dr. W. Glassley). Existe poco datos de temperaturas de agua y fuentes subterráneas para la Región.



Se revisó el sitio web del DGA “Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea” (snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes). desde donde teoricamente se puede bajar datos mensuales históricos de los niveles estáticos de unos pocos pozos y de los estaciones en la región, de medición de clima y de calidad físico-química de agua (que incluye datos de temperatura)

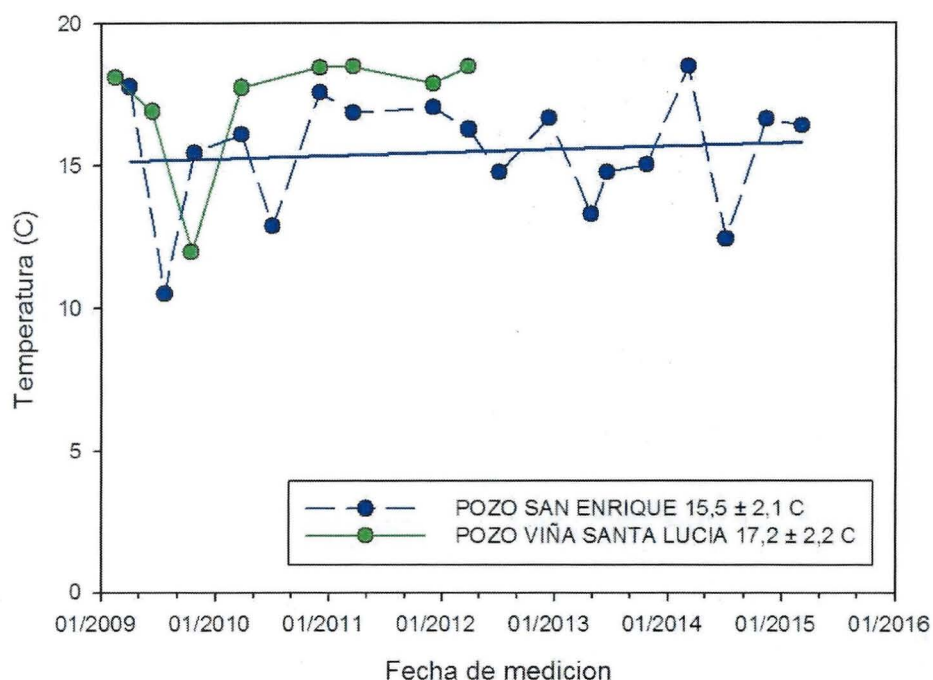
En esta página no se encontró datos meteorológicos para las estaciones de interés. La gran mayoría de los estaciones de monitoreo son de aguas superficiales y solo encontramos 2 pozos activos con monitoreo de temperatura en las zonas del estudio, Pozo Viña Santa Lucia (UTM 328.686 m E, 6.181.040 m N) y lo de Pozo San Enrique (318.838 m E, 6.154.962 m N) (sus ubicaciones están marcados con estrellas en la Figura 3.1) cercana a los bordes de la zona del estudio.

Figura 3.1 Distribucion espacial de temperaturas de agua de pozo (medida puntual) en la zona de interes de este estudio en la Region de Ohiggins



Fuente de datos: ● SDT 368 (DGA, 2015a) ▼ Mediciones de este estudio (Abril 2016)

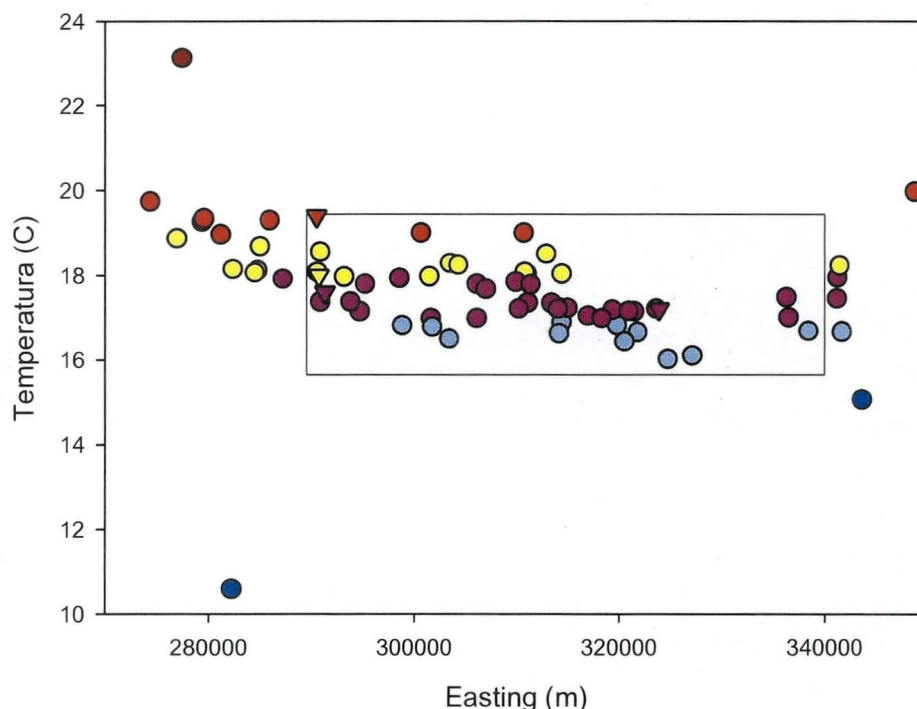
Figura 3.2 Variación de la temperatura de agua de 2 pozos en la Región de O'Higgins en los sectores hortaliza (viña Santa Lucía) y el sector frutícola (San Enrique) durante los últimos 6 años



Fuente de datos: DGA (2015b).

Este informe de la Dirección General de Aguas de 2015 (DGA 2015) presenta mediciones de la calidad de aguas subterráneas, cerca 70 pozos de cual 35 se ubican en la zona del estudio (ver Figura 3.1). Se observó una tendencia para las temperaturas a bajar desde la costa (oeste) hasta las correderas (este) (Figura 3.2). Este patrón se puede explicar por la geología, en lo que la área este es dominada por depósitos sedimentarios y la temperatura del agua subterránea está influida por mezclas con flujos superficiales, mientras en el oeste de la región la geología es de piedra más antiguas con menos influencia de eventos superficiales. No había correlaciones ni tendencia Nor-Sur ni correlación con niveles estáticos de los pozos (ver Anexo 4, Figuras 1 y 2).

Figura 3.3 Tendencia oeste-este de temperaturas de agua de pozos en Colchagua y Codegua



Fuente de datos: ● SDT 368 (DGA, 2015a) ▼ Mediciones de este estudio (Abril 2016)

Profesionales del Centro de Excelencia de Geotermia de Los Andes (CEGA) relizaron mediciones de las características fisico-hidraulicoas de 3 pozos y 1 pozo surgente ubicadas en las comunas de Pichidegua y San Fernando. La visita en terreno fue el 5 de abril 2016. Hicieron mediciones de los perfiles de temperatura, conductividad electrica y pH de aguas de pozos, información que en una manera indirecta puede indicar la capacidad del acuífero en términos de flujo de agua. Además conseguimos datos de pruebas de bombas hecho por los comites de agua potable en Los Aranos (Pichidegua) y Miraflores Polonia Quilapán (San Fernando). Con estos datos se estimó la conectividad hidraulico y coeficiente de almanecimiento de los acuíferos (**Anexo 3**). Los resultados de las pruebas indicaron perfiles homogeneos de temperatura y pH a partir de cerca 4 a 6 metros hasta el nivel estático, indicando alta rapidez del flujo del agua subterráneo.

En general las temperaturas en la zona fueron entre 16°C a 19°C. Los datos de la vistia de terreno el 5 de abril estan de acuerdo con los datos de DGA; y se indicant con los símbolos triangulos en las Figuras 3.1 y 3.3. Basado en la geología y la disponibilidad de datos de temperatura y profundidad de pozos y además en las



concentraciones mas altos de producción, elegimos (1) la comuna de Pichidegua (zona hortícola) y (2) de San Fernando (zona frutícola) para conducir el estudio técnico-económico detallado en las próximas etapas del estudio. Usaremos un valor de la temperatura de las aguas subterráneo de 17°C en San Fernando y de 18°C en Peumo para los cálculos de factibilidad técnico-operacional.

La cantidad de energía que se puede acceder del agua subterráneo para el control de heladas depende en el flujo de agua que se extrae y la cantidad de calor que se quita del agua. Considerando el caudal en unidades de masa de agua bombeado de un pozo por segundo (M, kg/s) y la cantidad de calor utilizado en terminos del cambio de temperatura del agua (ΔT), la cantidad de calor (H, J/s o Watts) disponible es

$$H = M \times \Delta T \times C_{H_2O}$$

donde C_{H_2O} es la capacidad calorífica de agua (4181 J/kg-°C). Se presenta el calor disponible en agua de pozos en funcion a la tasa de extracción flujo y ΔT (entre 2°C hasta 12°C) en la Figura 3.5. El grafico indica que aguas con 17-19°C de temperatura contienen un gran cantidad de energía termica. Por ejemplo, con un caudal de 25 L/s se puede obtener 1000 kW, sacando 10°C equivalente de calor del agua (agua con 18°C se termina con una temperatura de 8°C), suficiente calor para controlar heladas en 1 ha, con un requiremento de 100 W/m². El desafio es la distribucion de este calor en el huerto, en una manera eficiente, economica y práctica. Presentamos unos opciones de diseño en la proxima seccion y discutimos otros factores que se puede considerar para aumentar eficiencias y asi tener lo mismo energia para tratar areas aun mas grandes en **Anexo 4**. Los mediciones de caudal maximo de los pozos visitados en Pichedegua tenian caudales maximos de 40 L/s y arriba (**Anexo 3, Tabla 1**).

Claramente la factabilidad de extraer suficiente calor usando geotermia de los aguas subterraneos (o del suelo a profundidades) depende en el tamaño del recurso y su sustentabilidad para el control de heladas y otros aplicaciones. Este requiere conocimiento de los perfiles de temperatura en el suelo profundo y en la disponibilidad de flujo de agua subterraneo por la necesidad de conservar el recurso asi como garantizar su disponibilidad por el tiempo y crecencia de ocurrencia de las heladas.

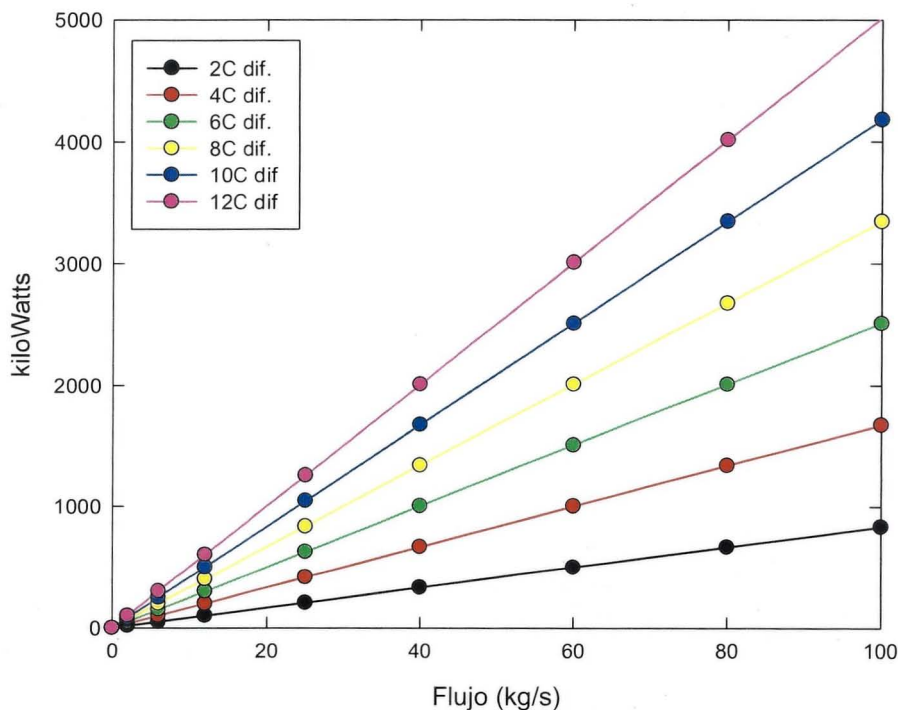
Aun que no encontramos datos publicados de propiedades termicas de los unidades geologicos del centro de la Region, el Dr. Bill Glassley realizó modelamiento de la potencial recurso geotermia en las zonas agricolas de la region (**Anexo 5**). Los cálculos fueron basados en propiedades estimados basados en 243 simulaciones estocásticas (Markov Chain Monte Carlo), derivados de un análisis de la estructura geológica de la región, y propiedades de materiales



obtenido por la literatura para tipos de materiales geológicos similares. Por lo tanto es importante recordar que los resultados son aproximados y hay que tratar los resultados con precaución.

El mejor resultado de las simulaciones preliminares en términos de la correlación entre las predicciones de temperaturas por el modelo y las mediciones de temperatura en pozos de la Región, por ejemplo predijeron una tendencia para temperaturas alta en la zona oeste de la región, se presenta en la Figura 3.6. El modelo soporta que exista un depósito termal importante en la zona oeste de la comuna de Pichidegua, y potencialmente un depósito de menor capacidad en el este, donde se ubica San Fernando. Los resultados preliminares predijeron que las temperaturas llegan a 35°C en profundidades de aprox. 600 m en esta zona de régimen de altas temperaturas.

Figura 3.4 Cantidad de calor disponible en función a caudal del agua (kg/s) y el reducción de temperatura del agua (°C) por extracción de su calor.

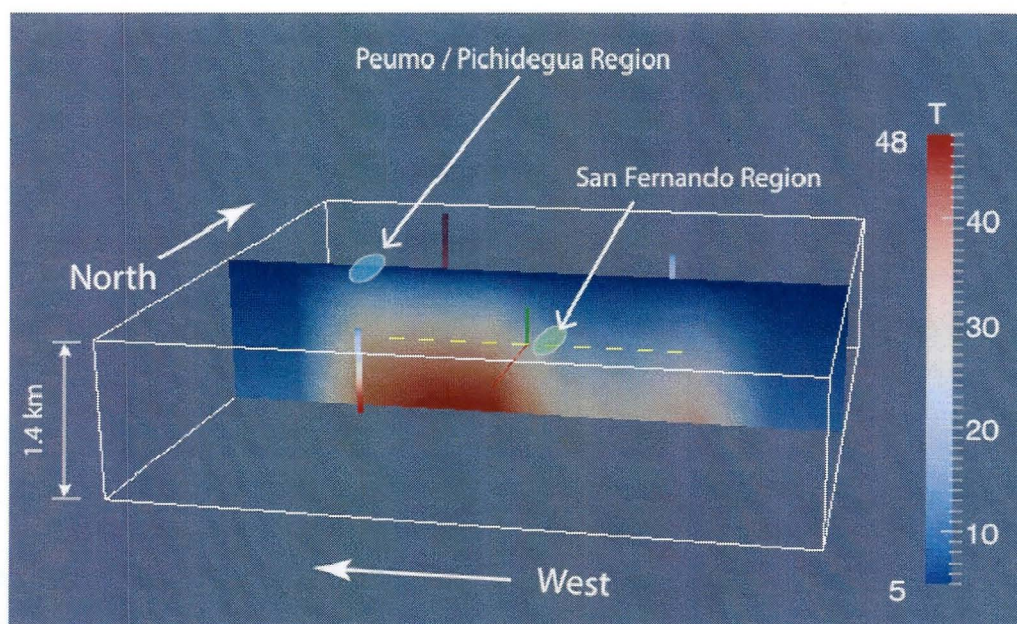


En general, la factabilidad de energía geotérmica es altamente sitio específico. Para poder considerar proyectos de a escalas más grandes, por ejemplo, sistemas de “district heating” que puedan soportar actividades agrícolas además

de usos domesticos a mayor escala (como calefaccion de casas) o el control de heladas en superficies grandes, requiere de muchas más (1000s) simulaciones usando propiedades de los piedras de la zona basado en mediciones de difusividad termal y conductividad termal de las piedras mas comunes en la zona, incluyendo conocimeneto de las ubicaciones de las fallas geograficas de la zona de interes.

No se encontraron estudios de terreno que indican la capacidad de las acuíferos en la zona de Pichidegua y San Fernando. Solo encontramos datos de los acuíferos de Rancagua y la cercana costa de la Region

Figura 3.5: Seccion este-oeste tras el volumen modelado.



5.4.4. Conceptos de Diseño y Escenarios

Para el estudio de factabilidad tecnico-económico, consideramos 2 escenarios “extremos”, la primera usando bombas de calor (geothermal heat pump, GHP), el segundo uso directo sin bombas de calor.

(Ver Anexos 1 y 3 para ejemplos del uso tradicionales de bombas de calor para la calefacción y refrigeración de domicilios. Anexo 3 se presenta una descripción básica de cómo funciona la bomba de calor).

- **Caso Geo1:** Usando una bomba de calor geotérmica (GHP) en un circuito cerrado (Figura 4.1a) la GHP permitirá aumentar la temperatura del agua a distribuir en el sistema y suficiente para contener la energía necesaria para controlar una helada.
- **Caso Geo2:** Se obtiene la energía para control de heladas desde el agua subterránea en un sistema abierto, transportando el agua y distribuyéndola dentro del huerto; sin usar bombas de calor para aumentar la temperatura del agua (Figura 4.1b).

Los dos escenarios contemplan:

- Apoyarse para distribución del agua caliente (17°C a 25°C o más, depende en el diseño) en las matrices primaria a terciaria del sistema de riego que permita llevar el agua hasta la plantación.
- Un sistema de distribución de calor al dentro de la zona de vegetación, ilustrada por una línea roja en las Figuras. Se contempla la necesidad de tener distintos diseños del sistema de distribución para árboles (cerezos) y para hortalizas como melones por la diferencia en el volumen que hay que calentar.
- Que no se consuma el agua, que sabemos es un recurso escaso. Los sistemas abiertos contemplan la reinyección del agua en el subsuelo en un pozo de reinyección ubicada de una manera que evite bajar la temperatura del recurso de extracción de agua.

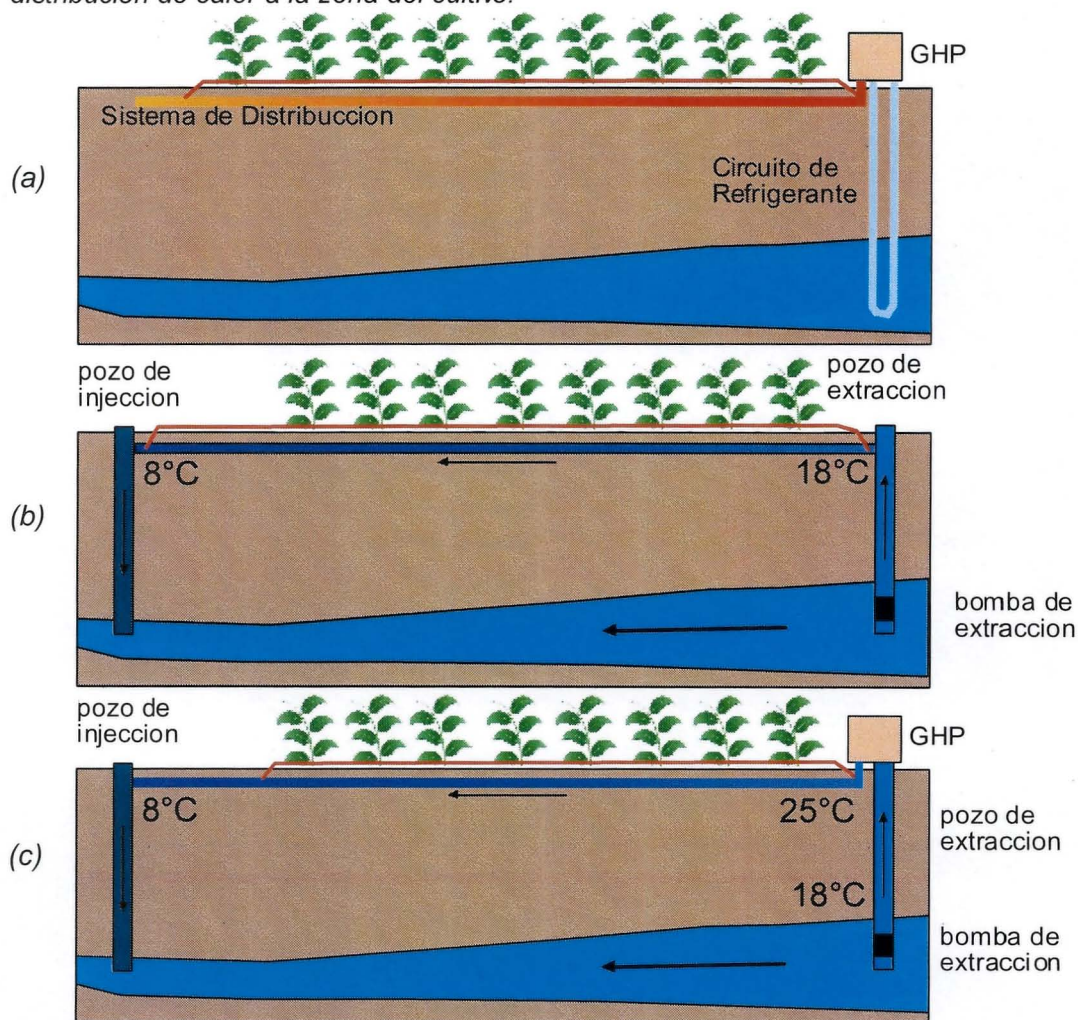
Una ventaja de escenario Geo1, es que no depende en extracción de aguas subterráneas, y se puede aplicar además en predios sin pozos, porque se puede usar el agua o el suelo como fuentes de intercambio de calor con el refrigerante del GHP. Además se puede usar el GHP para aumentar la temperatura en la zona de sondeo subterráneo y así producir el calor necesario. La restricción de la GHP es el elevado costo.

En escenario Geo2, para extraer calor para el control de heladas, hay dos opciones: aumentar el caudal extraído del agua subterránea y/o profundizar el

acceso hasta profundidades de unos 100's de metros para llegar a temperaturas mas altas de suelo/agua.

La Figura 4.1c presenta una configuracion intermedio, donde se ocupa una bomba de calor de menor capacidad para aumentar la temperatura del agua de distribución y caudales menores en comparación a Geo2.

Figura 4.1: Escenarios para el analisis tecnico-economico. (a) Geo 1: Sistema con bucle cerrado usando una bomba de calor (GHP) para generar temperatura en agua distribuido al huerto (b) Geo 2: Sistema con bucle abierta que contempla distribución del calor de los aguas de pozo al huerto sin uso de una bomba de calor (c) Variacion del sistema abierta, usando una bomba de calor. En las figuras, la linea roja representa un sistema de distribución de calor a la zona del cultivo.





Los volúmenes requeridos para el control de heladas son muy distintas entre hortalizas (e.j. vegetación con <1m de altura) y frutales (e.j. vegetación con 3 m de altura) contemplamos sistemas de distribución muy distintos.

En el caso de melon, la configuración sera similar a los sistemas de riego tecnificado, y se considera adaptar el sistema de as matrices del riego para bajar la inversion. El transporte del agua al cultivo debe ser bien aislado para minimizar las perdidas de calor en las canales de transporte, o usando aislación o instalando los tubos bajo suelo mas profundo (ej. 40 cm). Pero, una vez que llega a la zona del cultivo, usamos tubos sin aislación, de un material con una buena conducción termica, ej. polietileno (PE) tiene un valor de cerca 0.4 W m^{-1} , mejor en comparacion a PVC con 0.14 W m^{-1} (aluminio tiene un valor de cerca 200 W m^{-1}) El idea es calentar el suelo bajo de las plantas en la zona de la mesa por un red de tubos superficiales cubiertos por tierra, empezando al menos 24 horas antes de la helada, asumiendo que hay una alerta. El suelo es una muy buena fuente radiadora de calor. Ademas, si consideramos que los melones ocupan cubierta de plástico sobre el cultivo para control de heladas de menor impacto, ayudará a bajar la pérdida de calor desde la zona del cultivo, limitando la distribución de calor hasta el volumen ocupada por las plantas y no desechando calor para calentar las zonas entre hileras (ej. cultivos de melon ocupan menos de 40% de la superficie).

En el caso de frutales, contemplamos un sistema que distribuya el calor pudiendo ser de dos maneras : una neblina tibia muy fina o con el uso de aire caliente comprimido para ayudar en su distribución, en el primer caso el control de helada sera por radiación y por calor latente, y si se suma cortinas para confinar la neblina y proteger el area de los vientoslo haría mas eficiente.



5.4.5. Informe económico

Introducción

La severidad de la helada, corresponde al daño que causa; esta directamente relacionado con la temperatura, la duración del episodio, el cultivo (edad, especie, estado fenológico y zona).

En lo que respecta a la ocurrencia de heladas la región de O'Higgins presenta diferentes niveles de temperaturas bajo cero a través del año, Las heladas en Chile con impacto en la agricultura, de acuerdo a los registros de la dirección meteorológica son de una duración de entre 4 a 8 horas, siendo las heladas primaverales las más perjudiciales por tratarse de una zona hortofrutícola por excelencia, si bien en el caso de las hortalizas existen hortalizas de invierno y verano; las que se plantan en primavera compiten por una salida temprana al mercado para alcanzar mejores precios de allí el riesgo de heladas que enfrentan.

Así también existe diferencias en los valores publicados de temperaturas críticas ya sea porque se obtuvieron en laboratorio, en campo, en diferentes posiciones de los árboles o incluso con el dato de la caseta de clima; tal es el caso de los realizados por Murray (2011, cuadro 5.1) y Proebsting y Mills (1978, Cuadro 5.2) y otros investigadores. Por lo cual se recomienda considerar estos valores y otros disponibles de forma cuidadosa, es por ello que los hemos considerado como una directriz y asumimos que se debe considerar valores de seguridad, es decir mejor asumir una temperatura más alta que puede provocar daño (hacia arriba) y por ende del inicio del control de heladas.

Cuadro 5.1: Porcentaje de daño y rango de temperatura (°C por 30 minutos) para distintos estados fenológicos del cerezo

Estado Fenológico	10% daño de órganos (°C)	90% daño de órganos (°C)
Yema Hinchada	-8.3	-15.0
Primera abertura	-3.9	-10.0
Racimo apretado	-3.4	-8.4
Inicio botón blanco	-2.8	-4.5
Inicio floración	-2.2	-3.9
Plena flor	-2.2	3.9
Caída de pétalos	-2.2	-3.9

Fuente: M. Murray, 2011

Cuadro 5.2: Valores de temperaturas críticas (T_c en °C) para cerezos var. Bing.

CULTIVO	ESTADIO	10%	90%
		MORTANDAD	MORTANDAD
Cerezo (Bing)	Yema con la punta color verde	-3,7	-10,3
	Botones todavía reunidos	-3,1	-7,9
	Los botones se separan	-2,7	-6,2
	Ápice blanco de la corola visible	-2,7	-4,9
	Primera flor	-2,8	-4,1
	Plena floración	-2,4	-3,9
	Caída de los pétalos	-2,2	-3,6

El 10% de mortandad y el 90% de mortandad implican que 30 minutos a la temperatura indicada se espera que provoque la muerte de un 10% y un 90% de la parte de planta afectada durante el estadio fenológico indicado.

FUENTE: Proebsting y Mills, 1973.

El melón corresponde a una especie que no tolera las heladas, es decir con 0°C se daña (Martínez et al. 2008), en términos generales se habla que con -1°C existe pérdida de la producción. Cuadro 5.2)

Cuadro 5.3: Temperaturas de congelación del melón

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	TEMPERATURA (°C)
Melones		
Cantaloup	<i>Cucurbita melo var. reticulatus</i>	-1,2
Casaba	<i>Cucurbita melo</i>	-1,0
Crenshaw	<i>Cucurbita melo</i>	-1,1
Honeydew	<i>Cucurbita melo</i>	-1,1
Persian	<i>Cucurbita melo</i>	-0,8

FUENTE: A partir de Whiteman, 1957, tal como presenta la University of California, Davis, página web de Post-harvest: http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Storage/prop_a.shtml.

NOTAS: Algunas denominaciones taxonómicas pueden haber cambiado desde 1957.

La geotermia, fuente de energía renovable proporcionada por el suelo es variable según la profundidad a la que se explote, hasta una profundidad de unos 50 m, la temperatura del terreno está básicamente determinada por el intercambio térmico con la atmósfera y el sol, así como la presencia de aguas subterráneas (en nuestro estudio con temperatura de 16° a 19°C), resultando ser sustancialmente constante. Entre los 50 a 100m de profundidad existe un gradiente geotérmico variable, ya que todavía hay influencia de los fenómenos superficiales mencionados. Mas abajo de los 100m y según las condiciones tectónicas y

propiedades térmicas del suelo la temperatura se puede incrementar, en suelos estables tectónicamente o sedimentarios puede oscilar entre 15-30 °C/km.

Cuando se desea aprovechar la geotermia de muy baja temperatura, se requiere de la intervención de bombas de calor, equipos de alta eficiencia energética, bajo ruido, un muy bajo costo de mantención, tecnología conocida y de fácil complementación con otras fuentes energéticas; sin embargo a la fecha su costo es muy elevado en particular si la tecnología es europea respecto de las fabricadas en China.

Desde el punto de vista de flujos de calor, las bombas de calor que solamente operan para calefacción (o en “modo invierno”) realizan una permanente extracción de calor del terreno, que se contrarresta por el calor que aporta el Sol y el flujo de calor ascendente que proviene de mayores profundidades (y debido al llamado “gradiente geotérmico”) en el caso de la existencia de demandas térmicas “peak” o a corto plazo es posible requerir de dotar al sistema de BCG de una capacidad de intercambio suplementaria; lo cual encarece aun más el sistema (Fuente: Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), 2010)

Criterios usados

Severidad de la helada

Se ha establecido 3 niveles de severidad de las heladas: Leve, Moderado y Severo asignándose en el caso de las cerezas un nivel de pérdida para el año 1 y para el siguiente año posterior a una helada severa por la muerte de yemas que ésta provoca en los cerezos (Cuadro 5.4). En el caso de melones se usarán los mismos porcentajes que en cerezas al año 1, se omite el daño a la siguiente temporada por tratarse de un cultivo anual, sin embargo se considera los costos incurridos.

Cuadro 5.4: Porcentaje de pérdida según la severidad, cerezas y melones.

Severidad	Porcentaje perdida
Leve	20%
Moderado	40%
Severo	70%



De los precios utilizados para el análisis de sensibilidad , en el caso del melón tuna corresponde al precio nominal promedio pagado en Lo Valledor para el mes de Diciembre a melones provenientes de la región de O'Higgins durante el periodo de cosecha del 2011 al 2014 .(Fuente ,Lo Valledor, Odepa.2015) , que alcanza a \$314/ unidad.

En cuanto a las cerezas, se usó el ingreso FOB de las temporadas 2010/11 al 2013/2014 respecto de las toneladas exportadas desde Chile y descontó el costo promedio de servicios y materiales para obtener el valor neto a productor correspondiente a USD 2, 7/ kilo (ODEPA 2014). Otros estudios hablan de USD 3/ kilo (Cuadro 5.5).

Tasa de cambio 1 USD= \$650

Cuadro 5.5: Precio a productor por kilo cerezas y unidad de melón

Especie	Rendimiento(kg/ ha)	Retorno a productor		
		USD/kg	TC	\$/kg
Cerezos	12.000	2,7	650	1755
	Rendimiento(Ud/ ha)			\$/ud
Melón Tuna	42.000		650	314

Así también, es evidente que producto de una helada al disminuir la oferta aumenta el precio del producto, valores que fueron obtenidos de los precios nominales registrados en las cosechas del año 2013; tal es el caso del melón que subió en promedio todas las categorías un 20% para el mismo periodo y las cerezas en un 34% porcentaje (Fuente ODEPA, Lo Valledor) .

Sobre la base de estos antecedentes se ha asignado diferentes precios de venta según la severidad de la helada en cerezos y su efecto en la caída de la producción al año siguiente en el caso de las heladas severas (Cuadro 5.6), para los melones (Cuadro 5.7)

Cuadro 5.6: Aumento de precio en USD según severidad de la helada en cerezos

Severidad	Aumento de Precio	USD/kg
Leve	0%	2,7
Moderado	10%	3,24
Severo	30%	3,78



Cuadro 5.7: Aumento de precio en pesos por unidad de melón por reducción de la oferta

Severidad	Precio \$/Unidad de melón
Leve	0
Moderado	377
Severo	440

Los costos por hectárea de producción corresponden bajo un escenario normal en campo tomados como línea base los publicados el año 2013 por ODEPA y la experiencia práctica de Inés Zamora L., Ingeniero agrónomo.

El rendimiento en cerezos se consideró para un promedio de 3 variedades (Bing, Lapins y Regina) ello debido a que prácticamente no existe huertos con una sola variedad ya que se busca dar cierto escalonamiento a la cosecha, los kilos/ha son valores registrados por clientes de Inés Zamora y su propia experiencia productiva, cotejados con información de ODEPA y Cerezas Chile.

El rendimiento de 1 ha de melones se estableció para la variedad Sun Dew una de las más usadas en la región por su calidad y alta producción potencial de 50.000 uds/ ha, para el estudio se usó 42.000 ud.

La mayoría de los huertos frutales posee riego tecnificado y pozo para extracción de agua con una profundidad entre los 40 m a 100 m y flujos por sobre los 40 L/s por periodos mayores a las 24 hrs, siendo el agua distribuida por tubería de PVC y plansa, que para efectos de la evaluación el agua será usada para extraer temperatura en profundidad y las matrices primarias, secundarias y terciarias para distribuir el calor como vapor o aire caliente, apoyado por cintas plásticas o similares.

En lo que respecta a las hortalizas, las especies de mayor rentabilidad (melon, tomates, sandías y otras) se han modernizado e incorporado el riego por goteo con cañerías de PVC y cintas de riego para regar por goteo. De allí que se contempla usar las tuberías primarias a terciaria que posea y distribuir con cintas del mismo tipo que las de riego, bajo suelo el calor para que irradie hacia la planta. Importante recordar que los primores de melón la primera etapa usan una cobertura plástica que ayuda al control de heladas, sin embargo bajo eventos severos no lo protege debido a la sensibilidad de los melones y otras hortalizas a las heladas. Otro riesgo que se corre son las heladas en el mes de Octubre cuando se han removido dichas protecciones.



Escenarios de evaluación

Para la evaluación económica se considera los resultados bajo un escenario normal sin heladas en melones y cerezas.

A dichos flujos se aplicó:

1. Cerezos

Pérdidas por concepto de la ocurrencia de 3 heladas en un periodo total de 12 años de cultivo, de las cuales se asignó al año 4 y 7 una helada mediana con un 40% de pérdidas y al año 10 del cultivo una helada severa con pérdidas por 90%.

Para ello se consideró los registros de 20 años de la Estación meteorológica de San Fernando proporcionados por la Dirección meteorológica de Chile (1989 al año 2007) que dan cuenta en San Fernando de 2 heladas severas en dicho periodo así como; la intensidad promedio de la última helada anual (primavera) para dicho periodo es de $-0,6^{\circ}\text{C}$ y Intensidad promedio de la mayor intensidad fue de $-1,8^{\circ}\text{C}$.

2. Melones

2.1 Pérdidas de un 40% por concepto de la ocurrencia de una heladas de intensidad moderada.

2.2 Pérdidas de un 70% por concepto de la ocurrencia de una helada de intensidad severa .

Para ello se consideró los registros de 20 años de la estación Las Rosas proporcionados por Dirección Meteorológica de Chile (1989 al año 2008) que dan cuenta en la zona de Pichidegua de 1 helada bajo -2°C en dicho periodo, así como la Intensidad promedio de la última helada anual (primavera) para dicho periodo es de -0.9°C y Intensidad promedio de la mayor intensidad fue de -3.0°C .

Evaluación económica control de heladas con geotermia, Cultivo Cerezos

Si bien una plantación de cerezos puede durar productiva por mas de 25 años, sin embargo debido a las exigencias del mercado en calidad y calibre, cambio de variedades, se proyectó de forma conservadora hasta los 12 años.





VAN

Es el valor actualizado neto.

Este método calcula el valor actual de un proyecto de inversión y, por lo tanto, nos indica el incremento de riqueza que experimentará si se efectuase la inversión. Así pues, se han de descartar todos aquellos proyectos que ofrezcan una VAN negativo.

Se calcula restándole el importe de la inversión (12%) al flujo actualizado acumulado al final del último año de vida útil del proyecto.

Huerto sin helada para 12 años, VAN USD 166.167

Huerto con helada para 12 años, VAN USD 105.392

Huerto con helada- Diseño 1 Geotermia a 12 años, VAN USD 45.765

Huerto con helada -Diseño 2 Geotermia a 12 años, VAN USD 164.508

Pay-back o plazo de recuperación

Es el plazo de recuperación, e indica cuando se recupera la inversión realizada en la explotación.

Huerto sin helada el flujo de caja acumulado supera a la inversión inicial a lo largo del año 5.

Huerto con helada sin proteccion el flujo de caja acumulado supera a la inversión inicial a lo largo del año 6.

Huerto con helada - Diseño 1 Geotermia, el flujo de caja acumulado supera a la inversión inicial a lo largo del año 8

Huerto con helada -Diseño 2 Geotermia, el flujo de caja acumulado supera a la inversión inicial a lo largo del año 5.

TIR – Tasa interna de rentabilidad

Se trata de la tasa interna de rendimiento, que indica la rentabilidad de la inversión y su capacidad de endeudamiento. Es la tasa de descuento o actualización que hace que el VAN sea igual a cero.





Con los parámetros de inversión expuestos para cada caso, se obtiene:

Huerto sin helada la TIR es de 34,31%. Es el máximo de interés que puede ofrecer el proyecto, hay un margen bastante amplio teniendo en cuenta el 12% de interés inicial que se había fijado.

Huerto con helada sin protección la TIR es de 28,44%. Es el máximo de interés que puede ofrecer el proyecto, hay un margen amplio teniendo en cuenta el 12% de interés inicial que se había fijado. Sin embargo, la oportunidad del dinero es relevante en la actividad agrícola ya que cada vez que se pierde la producción anual, se pierde inversión en trabajos realizados a la fecha de la helada y el flujo de caja para continuar la siguiente temporada.

Huerto con helada -Diseño Geotermia 1 la TIR es de 14,85% , es el máximo de interés que puede ofrecer el proyecto, hay un margen pequeño y riesgoso aun cuando positivo, teniendo en cuenta el 12% de interés inicial que se había fijado.

Huerto con helada -Diseño 2 Geotermia la TIR es de 31,65%, es el máximo de interés que puede ofrecer el proyecto, hay un margen bastante amplio teniendo en cuenta el 12% de interés inicial que se había fijado.

Beneficio por cada Peso (\$) o Dolar (USD) invertido.

Conociendo la inversión que se ha realizado y el valor actual neto ganado, se puede saber el dinero ganado por cada peso o dólar invertido. (VNA/inversión)

Huerto sin helada por cada dólar invertido se gana USD 3,01

Huerto con helada por cada dólar invertido se gana USD 1,91

Huerto con helada -Diseño 1 Geotermia por cada dólar (USD) invertido se gana USD 0,24

Huerto con helada- Diseño 2 Geotermia por cada dólar (USD) invertido se gana USD 2,55

Evaluación económica control de heladas con geotermia, cultivo melones

Además de los criterios antes señalados, en el caso particular del melón se realizó la evaluación económica considerando la construcción en un pozo de 40m y la adquisición de una bomba, ambos valores fueron proporcionados en el costo de 1 ha, debido a que esa infraestructura permite el manejo de 10 ha de riego.





Así también,

Ingreso anual de 1 ha de melón sin helada	\$ 5.408.867
Ingreso anual de 1 ha de melón con helada moderada	\$ -1.448.893
Ingreso anual de 1 ha de melón con helada moderada y sistema de control de helada-Diseño Geo-1	\$ -21.278.958
Esto debido a la alta inversión en el sistema con Bomba de calor que no se alcanza a amortizar en el ejercicio de 1 año del cultivo.	
Ingreso anual de 1 ha de melón con helada moderada y sistema de control de helada-Diseño Geo-2	\$ 5.086.067
Rentabilidad anual de 1 ha de melón sin helada	69,5%
Rentabilidad anual de 1 ha de melón con helada moderada	-18,6%
Rentabilidad anual de 1 ha de melón con helada moderada y sistema de control de helada – Diseño Geo-1	-72,6%
Rentabilidad anual de 1 ha de melón con helada moderada y sistema de control de helada-Diseño Geo-2	47,4%



5.4.6. Informe legal y medio ambiental

Definiciones

Fuentes de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) :

En Chile se define como a la eólica, la pequeña hidroeléctrica (centrales hasta 20 MW), la biomasa, el biogás, la geotermia, la solar y la energía de los mares.

Concesiones Geotérmicas:

Una concesión geotérmica es aquel acto administrativo otorgado por el Estado, en donde se le autoriza a una persona natural o jurídica a realizar actividades de exploración o explotación de energía geotérmica, en un área determinada.

Tipos de Concesiones geotérmicas: Exploración y Explotación

Concesión geotérmica de exploración: es aquella que confiere el derecho a realizar los estudios, mediciones y demás investigaciones tendientes a determinar la existencia de fuentes de recursos geotérmicos, sus características físicas y químicas, su extensión geográfica y sus aptitudes y condiciones para su aprovechamiento.

La concesión de exploración tiene una vigencia de dos años, prorrogable por dos años adicionales.

Concesión geotérmica de explotación:

Corresponde al derecho a utilizar y aprovechar la energía geotérmica que exista dentro de sus límites, incluyendo la realización de actividades de perforación, construcción, puesta en marcha y operación de una central geotérmica.

Tiene una vigencia indefinida y esta amparada por el concesionario en el derecho de concesión y el pago de una patente anual.

Conforme lo indica el Artículo 14 de la Ley N° 19.657, "El titular de una concesión de exploración tendrá derecho exclusivo a que el Estado le otorgue la concesión de explotación sobre la respectiva área de exploración. Este derecho podrá ejercerse durante la vigencia de la concesión de exploración y hasta dos años después de vencida".

Ley 19.657

Corresponde a la ley que rige la explotación y/o explotación geotérmica, publicada el año 2000

Las normas de esta ley regulan;

- a) La energía geotérmica;
- b) Las concesiones y licitaciones para la exploración o la explotación de energía geotérmica;
- c) Las servidumbres que sea necesario constituir para la exploración o la explotación de la energía geotérmica;

- d) Las condiciones de seguridad que deban adoptarse en el desarrollo de las actividades geotérmicas;
- e) Las relaciones entre los concesionarios, el Estado, los dueños del terreno superficial, los titulares de pertenencias mineras y las partes de los contratos de operación petrolera o empresas autorizadas por ley para la exploración y explotación de hidrocarburos, y los titulares de derechos de aprovechamiento de aguas, en todo lo relacionado con la exploración o la explotación de la energía geotérmica, y
- f) Las funciones del Estado relacionadas con la energía geotérmica.

Situación legal de la explotación geotérmica

Si bien la ley no es clara en cuanto al tamaño de la explotación geotérmica que debe someterse a la tramitación de concesiones geotérmicas, pero si da atisbos que darian cuenta que sólo deberían ir aquellas exploraciones o explotaciones destinadas a la generación de electricidad, nos referiremos a algunos aspectos generales de ésta que dicen:

La energía geotérmica, cualesquiera sea el lugar, forma o condiciones en que se manifieste o exista, es un bien del Estado, susceptible de ser explorada y explotada, previo otorgamiento de una concesión, en la forma y con cumplimiento de los requisitos previstos en la ley.

La concesión de energía geotérmica es un derecho real inmueble, distinto e independiente del dominio del predio superficial, aunque tengan un mismo dueño, oponible al Estado y a cualquier persona, transferible y transmisible, susceptible de todo acto o contrato.

El titular de una concesión de energía geotérmica tiene sobre la concesión un derecho de propiedad, protegido por la garantía contemplada en el artículo 19 de la Constitución Política y por las demás normas jurídicas que sean aplicables al mismo derecho.

Corresponderá al Ministerio de Energía la aplicación, control y cumplimiento de la ley y sus reglamentos, sin perjuicio de las atribuciones conferidas a los demás organismos señalados específicamente en sus disposiciones.

La concesión de energía geotérmica puede ser de exploración o de explotación. Cada vez que esta ley se refiere a la concesión de energía geotérmica, se entiende que comprende ambas especies de concesiones

La Ley N° 19.657 mejoró la tramitación de las concesiones geotérmicas, pues entregó un marco regulatorio que antes no existía. Sin embargo, aún quedan muchas modificaciones por realizar, esto se refiere principalmente a:



- a) Definir el tamaño de las explotaciones que deben acogerse a la tramitación de concesiones geotérmicas. En la actualidad fuentes energeticas de baja entalpía que rescatan energia de hasta 100m de profundidad y más no son tramitadas por las empresas que ejecutan los proyectos (Fuente: entrevista a diferentes proveedores de servicios).
- b) El proceso de licitación, los requisitos legales para ser concesionario y la duración de la concesión.
- c) Independiente de que sea el Ministerio de energia quien administre la ley se debe acudir durante la tramitación de las concesiones geotérmicas a los ministerios de Minería, Energía y Medio Ambiente. Esto provoca una evidente desconcentración de la institucionalidad reguladora de esta actividad.

No obstante, estas falencias existe la disponibilidad de parte de las instituciones involucradas en resolver caso a caso las situaciones.

Situación legal del uso de aguas subterráneas en Chile (Código de aguas)

Para nuestro proyecto donde el objetivo es usar la temperatura que posee el agua entre los 6 a 100 m de profundidad se propone usar los pozos de riego registrados de la zona con potencial geotérmico evaluado de acuerdo a la practica geológica (ver nota aparte), pudiendo ser necesario aumentar la profundidad de perforación o realizar pozos en caso que estos no existan en el lugar a tratar, para ello se debe regir por el Codigo de aguas Ley 1122, cuya ultima versión es del año 2010 y que respecto de las aguas subterráneas señala que:

ARTICULO 59°- La explotación de aguas subterráneas deberá efectuarse en conformidad a normas generales, previamente establecidas por la Dirección General de Aguas.

ARTICULO 60. Comprobada la existencia de aguas subterráneas, el interesado podrá solicitar el otorgamiento del derecho de aprovechamiento respectivo, el que se constituirá de acuerdo al procedimiento establecido en el Título I del Libro II de este Código.

ARTICULO 61°- La resolución que otorgue el derecho de aprovechamiento de aguas subterráneas establecerá el área de protección en la cual se prohibirá instalar obras similares.

No esta claro de parte de la autoridad consultada respecto de que la DGA pudiera objetar la construccion de un pozo en zona con restricción de nuevas perforaciones, cuando el pozo es construido sólo para extraer temporalmente el agua y su temperatura y devolverla al acuífero.





No obstante se puede considerar:

ARTICULO 62°- Si la explotación de aguas subterráneas por algunos usuarios ocasionare perjuicios a los otros titulares de derechos, la Dirección General de Aguas, a petición de uno o más afectados, podrá establecer la reducción temporal del ejercicio de los derechos de aprovechamiento, a prorrata de ellos. Esta medida quedará sin efecto cuando los solicitantes reconsideren su petición o cuando a juicio de dicha Dirección hubieren cesado las causas que la originaron. Art. 63. La Dirección General de Aguas podrá declarar zonas de prohibición para nuevas explotaciones, mediante resolución fundada en la protección de acuífero, la cual se publicará en el Diario Oficial.

ARTICULO 64°- La autoridad deberá dictar una nueva resolución sobre la mantención o alzamiento de la prohibición de explotar, a petición justificada de parte, si así lo aconsejan los resultados de nuevas investigaciones respecto de las características del acuífero o la recarga artificial del mismo.

Medio ambiente

Los estudios y explotación geotérmica son nuevos en el país y serán de materia obligada de evaluación cuando generen una potencia instalada de más de 3 MW, por lo que no existe experiencia respecto de su evaluación ambiental. Lo cual, nos permite señalar que para el tipo de explotación que se requiere para el control de heladas no se requiere de una evaluación ambiental.

Importante comentar lo nuevo de la geotermia en Chile, que se ve de manifiesto en el hecho que se acaba de presentar La Guía de Evaluación de Impacto Ambiental de Centrales Generadoras de Energía Geotérmica pretende convertirse en un documento rector que permita homogeneizar los criterios y aspectos que deben ser considerados al momento de evaluar ambientalmente iniciativas de esta naturaleza, sometidas al Sistema de Evaluación Ambiental, SEIA.

Los aspectos que abordará la guía clasifica los tipos de generación de energía geotérmica; los efectos ambientales relevantes, tanto en fase de construcción, operación y cierre; la normativa ambiental aplicable; y los permisos ambientales sectoriales

Por otra parte, no existe claridad respecto cuándo una concesión geotérmica debe ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), lo que significa un obstáculo para los interesados en iniciar una actividad geotérmica. Según





explican en el Ministerio de Energía, actualmente, la actividad geotérmica está obligada a entrar al Servicio de Evaluación Ambiental por dos situaciones:

- a) Por la letra “c” del artículo 10 de la Ley N° 19.300, de Bases Generales de Medio Ambiente, que se refiere a las “centrales generadoras de energía mayores a 3 MW”.
- b) Por la letra “p” del artículo 10 de la Ley N° 19.300, de Bases Generales de Medio Ambiente, que se refiere a “ejecución de obras, programas o actividades en parques nacionales, reservas nacionales, monumentos naturales, reservas de zonas vírgenes, santuarios de la naturaleza, parques marinos, reservas marinas o en cualesquiera otras áreas colocadas bajo protección oficial, en los casos en que la legislación respectiva lo permita”.

En el primer caso, según el Servicio de Evaluación Ambiental, a la fecha se tramita solamente una generadora de energía a base de geotermia: la Central Geotérmica Cerro Pabellón, en la Segunda Región. Y se sabe que pronto ingresará a evaluación un segundo proyecto en La Araucanía, específicamente en el sector cordillerano de Tolhuaca.

Respecto de la segunda alternativa, se trata de situaciones eventuales, por lo que, en la práctica, no es una obligación para las concesionarias geotérmicas. Es en este punto, donde los concesionarios deben decidir si ingresan o no, decisión que –en uno y otro sentido- genera costos para la empresa.

Efecto mediambiental de las explotaciones

Nos referiremos a explotaciones de hasta 600m de profundidad para explotaciones superficiales (Fuente: Asesorías profesionales Alianza Limitada 2011).

En estos casos la mayoría de los métodos utilizados de perforación son pasivos y, por lo tanto, no afectan mayormente y/o alteran el medio ambiente. No resulta necesario la construcción de plataformas ni caminos, ni de cualquier otra instalación o construcción temporal o definitiva, ya que, son campañas acotadas espacial y temporalmente.

Por su parte, las actividades que pueden interferir o modificar al ambiente, como puede ser el uso de sísmica inducida o la perforación de pozos someros para mediciones de temperatura, no son actividades susceptibles de generar impacto al medio ambiente que estén tipificadas en el reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.





En el cuadro 6.1 se establece los potenciales fuentes de impactos que prevee las explotaciones superficiales y su descripción.

Cuadro 6.1: *Potenciales fuentes de impactos que prevee las explotaciones superficiales*

Fuente Impacto	Descripción
Uso de vehículos 4x4	Para transporte de especialistas y equipos
Generación de residuos domésticos.	En campañas de terreno de los especialistas
Movimientos de tierra	Aquellos excavaciones menores, necesarias para la instalación de instrumental geofísico
Perforación de pozos someros	Para la instalación de sensores de temperatura
Operación de camiones vibradores	Usados para efectuar sismica inducida
Uso de explosivos	Usados para efectuar sismica inducida

Descripción de Manejo Ambiental

Las medidas de manejo ambiental de los impactos identificados, se analizan a continuación, bajo una mirada de las medidas de mitigación generales que deben implementarse al momento de ejecutar las actividades.

Estas medidas generales son:

a. Medio Físico.

Frente a la alteración potencial de los suelos y calidad de agua, provocado por la generación de residuos, se debe efectuar un adecuado manejo de los residuos domésticos durante las campañas de terreno. La exploración superficial se realiza en territorios que por lo general no cuentan con instalaciones para la recepción de residuos, por lo cual los profesionales en terreno deben manejar y transportar los residuos domésticos en los vehículos.

b. Medio Biótico

Las alteraciones conductuales de la fauna debido al aumento del Nivel de Presión Sonora, como impacto frente a la operación de camiones vibradores, se considera un impacto puntual de corto plazo. Respecto de la alteración de hábitat para la fauna y flora, se deben establecer medidas tales como: el rescate de fauna de baja movilidad, relocalización de flora y vegetación en alguna categoría de conservación.

c. Medio Humano

Los ruidos molestos generados por los vehículos es un impacto puntual de corto plazo, los cuales se verifican con el cumplimiento de la legislación aplicable,



debiendo restringirse los traslados nocturnos y el uso de vehículos en buen estado mecánico.

En el cuadro 6.2 se presenta las fuentes de impacto, el impacto potencial y medidas de manejo y seguimiento al realizar perforaciones superficiales, recomendaciones contenidos en el Estudio de Evaluación Ambiental de proyectos Exploración y Explotación Geotérmica del año 2011 preparado por Asesorías profesionales Alianza Limitada y emitido por la Subsecretaría de Energía

Cuadro 6.2: Fuentes de impacto, impacto ambiental, medida de manejo y seguimiento ambiental

Fuente Impacto	Impacto Potencial	Medida de Manejo	Medidas de Seguimiento
Uso de vehículos 4x4	- Molestias a la población aledaña por aumento del Nivel de Presión Sonora - Aumento en la emisión de material particulado.	- Limitar los desplazamientos nocturnos - Uso de vehículos en buen estado mecánico - Control de velocidad de los vehículos	- Control de horarios de trabajos en terreno - Control de velocidad de los vehículos
Generación de residuos domésticos.	Alteración potencial de la calidad de los suelos	Manejo y Retiro de residuos en cada visita a terreno	Seguimiento a la disposición final del residuo
Movimientos de tierra	Aumento en la emisión de material particulado.	Humectación del área de trabajo	No se contemplan
Perforación de pozos someros	Alteración de hábitat para la fauna y flora	- Efectuar mediciones en sectores desprovistos de vegetación - Evitar la corta de vegetación - Evitar la intervención de sectores de resguardo de animales (cuevas, roqueros).	Supervisión en terreno
Operación de camiones vibradores	- Alteraciones conductuales de la fauna debido al aumento del Nivel de Presión Sonora - Alteración de hábitat para la fauna y flora	- Efectuar mediciones en sectores desprovistos de vegetación - Evitar la corta de vegetación. - Relocalización de flora y vegetación en alguna categoría de conservación. - Relocalización de fauna de baja movilidad	Supervisión de terreno
Uso de explosivos	- Alteraciones conductuales de la fauna debido al aumento del Nivel de Presión Sonora - Alteración de hábitat para la fauna	- Efectuar mediciones en sectores desprovistos de vegetación - Evitar la corta de vegetación. - Relocalización de flora y vegetación en	Supervisión de terreno
	y flora	alguna categoría de conservación. Relocalización de fauna de baja movilidad	

Legislación Laboral

La legislación laboral de nuestro país establece como requerimiento que cada trabajo debe proveer en cuanto a las jornadas laborales, salario, medidas de seguridad y sanitarias para los trabajadores que se desempeñen en ellas.



5.6 Resultados e impactos

Fichas técnicas y análisis económico

Equipamiento

GEOTERMIA CON BOMBA DE CALOR GEO 1-CEREZOS (huerto sin riego tecnificado)

Item / ha	Detalle	\$/ha
Movimiento tierra	Excavación y tapado de zanjas, traslado arena	200,000
Instalación tuberías	PEBD polietileno baja densidad 12,16,20,63 75,90 mm. Plazas	800,000
Válvulas	anti retornos, electroválvulas, reg presión, v suministro, v esferas	291,000
Accesorios	manómetros, curvas, T, reducciones, collarines	83,000
Filtrado	equipo filtrado según necesidad	300,000
Instalación eléctrica		417,000
Prefabricados	materiales protección	120,000
Ingeniería	Diseño y fiscalización	228,000
Perforación	20 m profundidad , diametro entubado 6"	2,000,000
sondas y relleno	Si se usa BC	2,100,000
Bomba	Bomba presión de 40L/s, Instalada	286,425
Bomba Calor	300 kW	22,500,000
	\$/ha	29,325,425





GEROTERMIA SIN BOMBA DE CALOR-GEO 2 : CEREZOS

Item / ha	Detalle	\$/ha	\$/ha
Movimiento tierra	Excavación y tapado de zanjas, traslado arena	366,000	366,000
Instalación tuberías	PEBD polietileno baja densidad 12,16,20,63 75,90 mm. Plazas	800,000	800,000
Válvulas	anti retornos, electroválvulas, reg presión, v suministro, v esferas	291,000	291,000
E Bombeo	Se asume el uso del equipo de riego, sino el costo par la Ha se indica	300,000	
Accesorios	manómetros, curvas, T, reducciones, collarines	83,000	83,000
Filtrado	equipo filtrado según necesidad	300,000	
Instalación eléctrica		417,000	417,000
Prefabricados	materiales protección	120,000	120,000
Ingeniería	Diseño y fiscalización	228,000	228,000
	\$/ha	2,905,000	2,305,000
	Imprevistos	145,250	115,250
	Total	3,050,250	2,420,250
	Total USD	4,693	3,723
	4 ha		14,894



USO BOMBA CALOR-GEO 1 – MELON (huerto sin riego tecnificado)

Item / ha		\$/ha
Movimiento tierra	Excavación , tapado de zanjas ,arena.Zonas 1,2 y 3ria	200,000
Instalación tuberías y cintas	PEBD polietileno baja densidad y cintas	600,000
Válvulas	anti retornos, electroválvulas,reg presión,v suministro,v esferas	291,000
Accesorios	manómetros,curvas,T,reducciones,collarines	83,000
Filtrado	equipo filtrado según necesidad	300,000
Instalación eléctrica		417,000
Prefabricados	materiales protección	120,000
Ingeniería	Diseño y fiscalización	228,000
Perforación	25 m profundidad , diámetro 6"	375,000
sondas y relleno	Si se usa Bcalor	875,000
Bomba agua	Bomba presión de 40L/s, instalada. Costo proporcional 1 ha de 10	286,425
Bomba Calor	300 kW (Euros 30.000)	22,500,000
\$/ha		26,275,425



GEOTERMIA SIN BOMBA DE CALOR-GEO 2 -- MELON

Item / ha	Detalle	\$/ha
Movimiento tierra	Excavación , tapado de zanjas ,arena.Zonas 1,2 y 3ria	200,000
Instalación tuberías y cintas	PEBD polietileno baja densidad y cintas	600,000
Válvulas	anti retornos, electroválvulas,reg presión,v suministro,v esferas	291,000
Accesorios	manómetros,curvas,T,reducciones,collarines	83,000
Filtrado	equipo filtrado según necesidad	300,000
Instalación eléctrica		417,000
Prefabricados	materiales protección	120,000
Ingeniería	Diseño y fiscalización	228,000
Perforación	25 m profundidad , diámetro 6"	375,000
Bomba agua	Bomba presión de 40L/s, instalada. Costo proporcional 1 ha de 10	286,425
\$/ha		2,900,425





FLUJOS

Evaluacion Economica Plantacion Cerezos Sin Heladas (USD)

Variedad Lapins,Bing,Regina

Riego tecnificado

Estructura

Distancia plantación 2x4.5m

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
kg/ha	0	0	3,000	5,000	7,000	10,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
Rendimiento embalado	80%	80%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
kg exportacion/ha	0	0	2,400	4,000	5,600	8,000	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600
kg exp 4 ha	0	0	9,600	16,000	22,400	32,000	38,400	38,400	38,400	38,400	38,400	38,400
kg m interno/ha	0	0	600	1,000	1,400	2,000	2,400	2,400	2,400	2,400	2,400	2,400
kg m interno 4 ha	0	0	2,400	4,000	5,600	8,000	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600

Inversion inicial	Por Ha	Unidad 4 ha
preparacion suelo	150	600
riego tecnificado	4,000	16,000
plantas	7,500	30,000
fertilizacion,enmiendas	108	431
análisis varios	154	615
fletes	300	1,200
mano de obra	200	800
estructura soporte	1,400	5,600
Total USD	12,412	55,246





Costos operacionales

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Directos	1,200	1,500	2,500	3,950	5,500	7,900	7,900	7,900	7,900	7,900	7,900	7,900
indirectos	300	300	300	300	600	600	600	600	600	600	600	600
Total USD	1,500	1,800	2,800	4,250	6,100	8,500	8,500	8,500	8,500	8,500	8,500	8,500
Total 4 ha	6,000	7,200	11,200	17,000	24,400	34,000	34,000	34,000	34,000	34,000	34,000	34,000

Ingresos

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
USD/ kilo	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
USD/ 4 ha m exportacion	0	0	25,920	43,200	60,480	86,400	103,680	103,680	103,680	103,680	103,680	103,680
Usd/ kilo mercado interno	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
USD/4 ha m interno	0	0	1,008	1,680	2,352	3,360	4,032	4,032	4,032	4,032	4,032	4,032
Ingresos Totales USD/ 4 ha	0	0	26,928	44,880	62,832	89,760	107,712	107,712	107,712	107,712	107,712	107,712

Flujo neto 4 ha cerezos USD

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Detalle
55,246	6,000	7,200	11,200	17,000	24,400	34,000	34,000	34,000	34,000	34,000	34,000	34,000	costos
0	0	0	26,928	44,880	62,832	89,760	107,712	107,712	107,712	107,712	107,712	107,712	ingresos
-55,246	-6,000	-7,200	15,728	27,880	38,432	55,760	73,712	73,712	73,712	73,712	73,712	73,712	



55,246	VAN	166,167	3.01
	TIR	34.31%	

ANALISIS DE SENSIBILIDAD

VARIACION FLUJO

NETO 15.00%

-55,246	-6,000	-7,200	13,369	23,698	32,667	47,396	62,655	62,655	62,655	62,655	62,655	62,655
											VAN	186,536
											TIR	30.97%
											Tasa	12.00%

VARIACION FLUJO

NETO 30.00%

-55,246	-6,000	-7,200	9,358	16,589	22,867	33,177	43,859	43,859	43,859	43,859	43,859	43,859
											VAN	127,246
											TIR	24.15%
											Tasa	12.00%

VARIACION FLUJO

NETO 40.00%

-55,246	-6,000	-7,200	8,021	14,219	19,600	28,438	37,593	37,593	37,593	37,593	37,593	37,593
											VAN	107,483
											TIR	21.40%
											Tasa	12.00%

VARIACION FLUJO

NETO 50.00%

-55,246	-6,000	-7,200	6,684	11,849	16,334	23,698	31,328	31,328	31,328	31,328	31,328	31,328
											VAN	87,720



TIR	18.30%
Tasa	12.00%





Evaluacion Economica en USD, Plantacion Cerezos Afectada Por Helada

Variedad Lapins, Bing, Regina

Riego tecnificado

Estructura

Distancia plantación 2x4.5m

	40.00%				40.00%				90.00%			
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Total produccion kg/ha	0	0	3,000	5,000	7,000	10,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
Total kg/ ha Helada	0	0	3,000	3,000	7,000	10,000	7,200	12,000	12,000	1,200	12,000	12,000
Rendimiento embalado	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%
kg exportacion/Ha Helada	0	0	2,400	2,400	5,600	8,000	5,760	9,600	9,600	960	9,600	9,600
kg exp 4 ha helada	0	0	9,600	9,600	22,400	32,000	23,040	38,400	38,400	3,840	38,400	38,400
kg m interno/ha helada	0	0	600	600	1,400	2,000	1,440	2,400	2,400	240	2,400	2,400
kg m interno 4 ha Helada	0	0	2,400	2,400	5,600	8,000	5,760	9,600	9,600	960	9,600	9,600

Inversión inicial	Ha	Unidad 4 ha
preparación suelo	150	600
riego tecnificado	4,000	16,000
plantas	7,500	30,000
fertilización,enmiendas	108	431
análisis varios	154	615
fletes	300	1,200
mano de obra	200	800
estructura	1,400	5,600
Total USD	13,812	55,246





Costos operacionales

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Directos	1,200	1,500	2,500	3,950	5,500	7,900	7,900	7,900	7,900	7,900	7,900	7,900
indirectos	300	300	300	300	600	600	600	600	600	600	600	600
Total USD	1,500	1,800	2,800	4,250	6,100	8,500	8,500	8,500	8,500	8,500	8,500	8,500
Total 4 ha	6,000	7,200	11,200	17,000	24,400	34,000	34,000	34,000	34,000	34,000	34,000	34,000

Ingresos

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
USD/ kilo	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	3.78	2.70	2.70
USD/ 4 ha m exportacion helada	0	0	25,920	25,920	60,480	86,400	62,208	103,680	103,680	14,515	103,680	103,680
Usd/ kilo mercado interno	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
USD/4 ha m interno	0	0	1,008	1,008	2,352	3,360	2,419	4,032	4,032	403	4,032	4,032
Ingresos Totales USD	0	0	26,928	26,928	62,832	89,760	64,627	107,712	107,712	14,918	107,712	107,712

Flujo neto USD antes

de impuesto 4 ha
cerezos

Inversió
n

55,246

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Costos	6,000	7,200	11,200	17,000	24,400	34,000	34,000	34,000	34,000	34,000	34,000	34,000
Ingresos	0	0	26,928	26,928	62,832	89,760	64,627	107,712	107,712	14,918	107,712	107,712
	-55246	-6000	-7200	15,728	9,928	38,432	55,760	30,627	73,712	73,712	-19,082	73,712
	55246										VAN	105,392





TIR	28.44%
tasa	
interés	12.00%

Flujo Diseño Geo1 – Huerto Cerezos

EVALUACION ECONOMICA PLANTACION CEREZOS FLUJO DE FONDOS USD CON CONTROL DE HELADAS CON SISTEMA GEOTERMICO CON BOMBA DE CALOR

Variedad Lapins,Bing,Regina

Riego tecnificado

Estructura

Distancia plantación 2x4.5m

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
kg/ha	0	0	3,000	5,000	7,000	10,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
Rendimiento embalado	80%	80%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
kg exportacion/ha	0	0	2,400	4,000	5,600	8,000	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600
kg exp 4 ha	0	0	9,600	16,000	22,400	32,000	38,400	38,400	38,400	38,400	38,400	38,400
kg m interno/ha	0	0	600	1,000	1,400	2,000	2,400	2,400	2,400	2,400	2,400	2,400
kg m interno 4 ha	0	0	2,400	4,000	5,600	8,000	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600

Inversion inicial	Ha	Unidad 4 ha
preparacion suelo	150	600
riego tecnificado	4,000	16,000
plantas	7,500	30,000
fertilizacion,enmiendas	108	431
análisis varios	154	615
fletes	300	1,200
mano de obra	200	800



estructura	1,400	5,600
Equipamiento		14,894
Bombas de Calor, 3x300 kW		90,000
Total USD	13,812	160,140

Costos

operacionales

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Directos	1,200	1,500	2,500	3,950	5,500	7,900	7,900	7,900	7,900	7,900	7,900	7,900
Mantenición Equipo H.			231		231		231		231		231	
Consumo eléctrico				2,708			2,708			4,062		
indirectos	300	300	300	300	600	600	600	600	600	600	600	600
Total USD	1,500	1,800	3,031	6,958	6,331	8,500	11,438	8,500	8,731	12,562	8,731	8,500
Total 4 ha	6,000	7,200	12,123	27,831	25,323	34,000	45,754	34,000	34,923	50,246	34,923	34,000

Ingresos

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
USD/ kilo	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	3.78	3.78	3.78
USD/ 4 ha m exportación	0	0	25,920	43,200	60,480	86,400	103,680	103,680	103,680	145,152	145,152	145,152
Usd/ kilo mercado interno	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
USD/4 ha m interno	0	0	1,008	1,680	2,352	3,360	4,032	4,032	4,032	4,032	4,032	4,032
Ingresos Totales USD/ 4 ha	0	0	26,928	44,880	62,832	89,760	107,712	107,712	107,712	149,184	149,184	149,184

Flujo neto 4 ha cerezos

USD



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Detalle
160,140	6,000	7,200	12,123	27,831	25,323	34,000	45,754	34,000	34,923	50,246	34,923	34,000	costos
0	0	0	26,928	44,880	62,832	89,760	107,712	107,712	107,712	149,184	149,184	149,184	ingresos
-160,140	-6,000	-7,200	14,805	17,049	37,509	55,760	61,958	73,712	72,789	98,938	114,261	115,184	
160,140											VAN	77,983	0.49
											TIR	17.38%	





Flujo Diseño Geo-2 – Huerto Cerezos

EVALUACION ECONOMICA PLANTACION CEREZOS

FLUJO DE FONDOS USD CON CONTROL DE HELADAS CON SISTEMA GEOTERMICO SIN BOMBA DE CALOR

Variedad Lapins, Bing, Regina

Riego tecnificado

Estructura

Distancia plantación 2x4.5m

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
kg/ha	0	0	3,000	5,000	7,000	10,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
Rendimiento embalado	80%	80%	80.0%	80.0%	80.0%	80.0%	80.0%	80.0%	80.0%	80.0%	80.0%	80.0%
kg exportación/ha	0	0	2,400	4,000	5,600	8,000	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600
kg exp 4 ha	0	0	9,600	16,000	22,400	32,000	38,400	38,400	38,400	38,400	38,400	38,400
kg m interno/ha	0	0	600	1,000	1,400	2,000	2,400	2,400	2,400	2,400	2,400	2,400
kg m interno 4 ha	0	0	2,400	4,000	5,600	8,000	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600

Inversión inicial	Ha	Unidad 4 ha
preparación suelo	150	600
riego tecnificado	4,000	16,000
plantas	7,500	30,000
fertilización,enmiendas	108	431
análisis varios	154	615
fletes	300	1,200
mano de obra	200	800
Infraestructura soporte	1,400	5,600
Infraestructura Geo	3,723	14,894





Total USD	16,135	64,540
-----------	--------	--------

Costos operacionales

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Directos	1,200	1,500	2,500	3,950	5,500	7,900	7,900	7,900	7,900	7,900	7,900	7,900
Mantenición Equipo H.			154		154		154		154		154	
Consumo eléctrico				677			677			1,015		
Indirectos	300	300	300	300	600	600	600	600	600	600	600	600
Total USD	1,500	1,800	2,954	4,927	6,254	8,500	9,331	8,500	8,654	9,515	8,654	8,500
Total 4 ha	6,000	7,200	11,815	19,708	25,015	34,000	37,323	34,000	34,615	38,062	34,615	34,000

Ingresos

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
USD/ kilo	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	3.78	2.70	2.70
USD/ 4 ha m exportación		0	25,920	43,200	60,480	86,400	103,680	103,680	103,680	145,152	103,680	103,680
Usd/ kilo mercado interno	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
USD/4 ha m interno	0	0	1,008	1,680	2,352	3,360	4,032	4,032	4,032	4,032	4,032	4,032
Ingresos Totales USD/ 4 ha	0	0	26,928	44,880	62,832	89,760	107,712	107,712	107,712	149,184	107,712	107,712

Flujo neto 4 ha cerezos USD

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Detalle
64,540	6,000	7,200	11,815	19,708	25,015	34,000	37,323	34,000	34,615	38,062	34,615	34,000	costos
0	0	0	26,928	44,880	62,832	89,760	107,712	107,712	107,712	149,184	107,712	107,712	ingresos
-64,540	-6,000	-7,200	15,113	25,172	37,817	55,760	70,389	73,712	73,097	111,122	73,097	73,712	
64,540											VAN	164,508	2.55





TIR	31.65%
Tasa interes	12.00%

Evaluacion Economica Plantacion Melones Sin Heladas

	Flujo anual costos de producción melón tuna / ha. Region de OHiggins							
	Mayo	Junio	Julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Unidades cosechadas							25,200	16,800
\$ promedio/ unidad							314	314
Ingresos \$ / ha							7,912,800	5,275,200
Ingreso acumulado \$/ha							7,912,800	13,188,000

Costos	Mayo	Junio	Julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	
Mano de obra (a)	225,000	138,750	248,750	128,750	460,750	392,000	225,000	138,750	
Maquinaria	0	0	40,000	95,000	60,000	15,000	127,000	112,000	
Flete a Lo Valledor (20 bins)							450,000	450,000	
Dereche ingreso Lo Valledor							360,000	360,000	
Insumos									
Plantas		450,000		450,000					
Fertilizantes				410,750					
Fungicidas					141,600				
Insecticidas					165,000	110,000			
Otros insumos				1,542,000					180,000
Otros costos									
Imprevistos							177,809	177,809	
Costo financiero							155,583	155,583	
Total Costos \$/mes	0	450,000	265,000	2,636,500	615,350	253,750	1,731,141	1,827,391	
Costo Total acumulado \$		450,000	715,000	3,351,500	3,966,850	4,220,600	5,951,741	7,779,133	ingreso neto/ha
Ingreso Total Neto \$	0	-450,000	-265,000	-2,636,500	-615,350	-253,750	6,181,659	3,447,809	5,408,867





Inversión	7,779,133
Beneficio	5,408,867
Rentabilidad %	69.5

Evaluacion Economica, Plantacion Melones Afectada Por Helada

Flujo anual producción melón tuna / ha. Región de OHiggins Con helada moderada									
	Mayo	Junio	Julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	
Unidades Potenciales	0	0	0	0	0	0	25200	16800	
Unidades Cosechadas	0	0	0	0	0	0	10080	6720	
\$ promedio/ unidad (daño helada 40%)	0	0	0	0	0	0	377	377	
Ingresos \$ / ha	0	0	0	0	0	0	3,798,144	2,532,096	
Ingreso acumulado \$/ha							3,798,144	6,330,240	
Total Costos \$/mes	0	450,000	265,000	2,636,500	615,350	253,750	1,731,141	1,827,391	
Costo Total acumulado \$	0	450,000	715,000	3,351,500	3,966,850	4,220,600	5,951,741	7,779,133	Ingreso \$/ha
Ingreso Total Neto \$	0	-450,000	-265,000	-2,636,500	-615,350	-253,750	2,067,003	704,705	-1,448,893
								Inversión	7,779,133
								Beneficio	-1,448,893
								Rentabilidad %	-18.6





Flujo Diseño Geo1 – Plantacion Melones

Flujo anual producción melón tuna / ha. Región de OHiggins con helada moderada y Sistema Geotérmico 1

	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Unidades Cosechadas	0	0	0	0	0	0	25200	16800	
\$ promedio/ unidad	0	0	0	0	0	0	377	377	
Ingresos \$ / ha	0	0	0	0	0	0	9,495,360	6,330,240	
Ingreso acumulado \$/ha							9,495,360	15,825,600	
Total Costos \$/mes	26,275,425	450,000	265,000	2,636,500	615,350	253,750	1,731,141	1,827,391	
Costo Total acumulado \$	26,275,425	26,725,425	26,990,425	29,626,925	30,242,275	30,496,025	32,227,166	34,054,558	Ingreso \$/ha
Ingreso Total Neto \$	-26,275,425	-450,000	-265,000	-2,636,500	-615,350	-253,750	7,764,219	4,502,849	-18,228,958
									Inversion
									26,275,425
									Beneficio
									-18,228,958
									Rentabilidad%
									-69.4
									Años amortizar
									5

Rentabilidad: Beneficio obtenido respecto de la inversion realizada

Flujo Diseño Geo2 – Plantacion Melones

Flujo anual producción melón tuna / ha. Región de OHiggins Con helada moderada y Sistema Geotérmico 2

	Mayo	Junio	Julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	
Unidades Cosechadas							25200	16800	
\$ promedio/ unidad							377	377	
Ingresos \$ / ha	0	0	0	0	0	0	9,495,360	6,330,240	
Ingreso acumulado \$/ha							9,495,360	15,825,600	
Total Costos \$/mes	2,900,425	450,000	265,000	2,636,500	615,350	253,750	1,731,141	1,827,391	
Costo Total acumulado \$	2,900,425	3,350,425	3,615,425	6,251,925	6,867,275	7,121,025	8,852,166	10,679,558	Ingreso \$/ha
Ingreso Total Neto \$	-2,900,425	-450,000	-265,000	-2,636,500	-615,350	-253,750	7,764,219	4,502,849	5,146,042
									Inversión
									10,679,558
									Beneficio
									5,146,042
									Rentabilidad%
									48.2
									Años amortizar
									1

Rentabilidad: Beneficio obtenido respecto de la inversion realizada





1. Problemas enfrentados durante la ejecución proyecto (legal, técnico, administrativo, de gestión) y las medidas tomadas para enfrentar cada uno de ellos.

Tal como se señalara, inicialmente se produjo un desfase en los tiempo de ejecución por inicio retrasado y posteriormente en Diciembre muchas personas en feriado no pudiéndose avanzar en las encuestas y contactos con la oferta. Se informo a FIA para efecto de entrega de informe atrasado.

Si bien se reviso y leyó muchas tesis de grado de uso de geotermia y visito universidades, nos contactamos con varios de los profesionales Ingeniero Civiles o similares autores de las mismas en la búsqueda de incorporar un profesional, in embargo ellos mismos declaraban que sus tesis eran teóricas y por tanto no disponían de las capacidades para realizar análisis y/o modelamientos; por lo cual se incorporó a Bill Glassley y Steve Miller ambos profesionales norte-americanos al proyecto. Situación que fue informada a FIA.

La escasa información geológica de la región como insumo para la implementación de proyectos geométricos, a excepción de las zonas mineras donde hay una gran cantidad de información. Se complementó la asesoría de CEGA establecida en el proyecto además con evaluaciones en campo que dió origen a un informe usado en los modelamientos





2. **Difusión de los resultados obtenidos** adjuntando las publicaciones realizadas en el marco del proyecto o sobre la base de los resultados obtenidos, el material de difusión preparado y/o distribuido, las charlas, presentaciones y otras actividades similares ejecutadas durante la ejecución del proyecto.

8.1 Portal frutícola

www.portalfruticola.cl

8.2 Revista Redagricola, No. 79, Julio 2016, p. 81 www.redagricola.com

8.3 Portal del campo,

<http://www.portaldelcampo.cl/noticias/verNoticia/56522/estudian-nuevo-sistema-de-control-de-heladas-a-traves-de-energia-geotermica.html>

8.4 Se realizó difusión directa a productores en actividades de grupo de transferencia de Pomáceas y Arándanos (ver punto 9 y anexo firmas asistencia)

Así también se dejó programado para el jueves 4 de Agosto del 2016, con el objeto de dar a conocer los resultados de éste informe una actividad de difusión en el Restoran Tyrol, San Fernando, dirigida a productores, profesionales y autoridades locales del sector agrícola.

8.5 Aparición en otros medios de comunicación

<http://elagro.radioagricultura.cl/2016/07/13/estudian-nuevo-sistema-control-heladas-traves-energia-geotermica/>

<http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=142066>





3. Productores participantes

Antecedentes globales de participación de productores

REGIÓN	TIPO PRODUCTOR	GÉNERO FEMENINO	GÉNERO MASCULINO	ETNIA (INDICAR SI CORRESPONDE)	TOTALES
OHI	PRODUCTORES PEQUEÑOS		23		23
	PRODUCTORES MEDIANOS-GRANDES		2		2
	PRODUCTORES PEQUEÑOS				
	PRODUCTORES MEDIANOS-GRANDES				

Antecedentes específicos de participación de productores

NOMBRE	UBICACIÓN PREDIO			Superficie Hás	Fecha ingreso al proyecto
	Región	Comuna	Dirección Postal		
Arturo Valenzuela	Sexta			10	Participa actividad de Difusión
Oscar Maturana	Sexta			17	Participa actividad de Difusión
Eduardo Valdivia	Sexta			14	Participa actividad de Difusión
Esteban Silva	Sexta			administrador	Participa actividad de Difusión
Luis Pavez	Sexta			3	Participa actividad de Difusión
Juan Silva	Sexta			administrador	Participa actividad de Difusión
Luis Germán González	Sexta			26	Participa actividad de Difusión



Ivan Oyarce	Sexta			administrador	Participa actividad de Difusión
Juan Meneses	Sexta			administrador	Participa actividad de Difusión
Hernán Castro	Sexta			administrador	Participa actividad de Difusión
Pedro Castro	Sexta			60	Participa actividad de Difusión
Braulio Jorquera	Sexta			16.5	Participa actividad de Difusión
Francisco Fuentes	Sexta			1.5	Participa actividad de Difusión
Luis González	Sexta			10	Participa actividad de Difusión
Arturo Ramírez	Sexta			6	Participa actividad de Difusión
Hernán Araya	Sexta			6.5	Participa actividad de Difusión
Francisco Osorio	Sexta			2	Participa actividad de Difusión
Fernando Domínguez	Sexta			administrador	Participa actividad de Difusión
Cristian Ojeda	Sexta			6.7	Participa actividad de Difusión
Osvaldo Sierra	Sexta			10	Participa actividad de Difusión
Richard Alarcon	Sexta			5	Participa actividad de Difusión
Marcos González	Sexta			6	Participa actividad de



					Difusión
Daniel Uauy	Sexta			45	Evaluación Pozos
Carlos Reyes	Sexta			30	Evaluación Pozos
Agrícola San Antonio	Sexta			31	Evaluación Pozos

4. Conclusiones

La información disponible de atributos geotermicos en la region de OHiggins así como las capacidades de evaluación de proyectos geotermicos es escasa.

La oferta de servicios de geotermia se ha concentrado principalmente en el uso de bombas de calor que si bien son muy eficientes energéticamente, son de alto valor de venta en Chile.

La legislación nacional obliga a la tramitación de una concesion geotermica para la exploracion y explotación de la energia geotermica, asi como someterse a una evaluacion de impacto ambiental; sin embargo estos dos requisitos estan bien acotados para grandes intervenciones destinadas a la generción eléctrica. En lo que respecta a baja y mediana entalpía las intervenciones realizadas no son declaradas ni concesionadas.

Las temperaturas registradas en el agua a 5 m bajo el nivel del suelo en la zona de Pichidegua y San Fernando fueron entre 16°C a 19°C.

La zona de Pichidegua respecto de la evaluada en San Fernando presenta una capacidad termica del suelo mas alta que esta última.

Aguas con 17-19°C de temperatura contienen un gran cantidad de energia termica. Por ejemplo, con un caudal de 25 L/s se puede obtener 1000 kW, sacando 10°C equivalente de calor del agua (agua con 18°C se termina con una temperatura de 8°C), suficiente calor para controlar heladas en 1 ha, con un requiremento de 100 W/m². El desafio es la distribucion de este calor en el huerto, en una manera eficiente, economica y práctica.

Simulaciones de infraestructura requerida para el control de heladas con energia geotérmica bajo un escenario de dos heladas moderadas (40% de perdida) y 1 severa (70% de perdida) en una superficie de 4 ha de cerezos y a pesar del elevado costo de las bombas de calor, si esta es usada para elevar la temperatura del acuífero; el VAN es de USD 45.765 y la TIR de 14,85% lo que nos permite pensar que de poder disponer de una tecnologia a precio más competitivo puede ser una solucion para el control de heladas.



La producción de calor para el control de heladas en cerezos bajo el mismo escenario ya planteado, tan sólo usando la temperatura del afluyente y asegurando un flujo por sobre los 25 L/s (sin bombas de calor) permite obtener rentabilidades similares a las que se logran sin haber tenido ningún episodio de daño durante 12 años, con una VAN de USD 164.508 y la TIR de 31,65%.

Respecto del cultivo del melón sometida a una helada moderada con un 40% de pérdida, no permite el uso de la opción denominada Geo 1 con bomba de calor, ya que la inversión inicial es muy alta de \$ 26.275.425/ha; no alcanzándose a amortizar durante el periodo del cultivo y se necesitaría en un año de 5 ha plantadas para recién amortizar la inversión.

Diferente situación se puede producir si el control de heladas es usando tan sólo el calor geotérmico que produce a través de un flujo de agua con un flujo mínimo de 25L/s y a 18°C, y aun cuando la inversión se estima en cerca \$3.000.000 ante una helada de mediana severidad, se logra amortizar la inversión en el año de cultivo, con una rentabilidad del 48,2% y un ingreso neto de \$5.146.042/ha

La comuna de Pichilemu tendría un mayor potencial geotérmico que San Fernando de acuerdo a las evaluaciones y simulaciones realizadas.

5. Recomendaciones

De acuerdo a la experiencia del equipo profesionales que trabajó en el proyecto se detecta un alto potencial de uso de la geotermia para el control de heladas y otros usos alternativos tanto agrícolas como domésticos a nivel de campo, sin embargo y considerando que el recurso geotérmico es sitio específico se recomienda, para la ejecución de un prototipo de control de heladas con geotermia; contar previamente con evaluaciones in situ destinadas a conocer la condición geológica y los atributos térmicos del suelo.





Resulta relevante para el desarrollo de tecnologías eficientes en el uso de la energía para el control de heladas que se desarrollen estudios del comportamiento de las heladas en cuanto a la distribución en altura de las temperaturas así como modelos locales para dar alertas anticipadas.

La geotermia es un recurso poco explotado en Chile y requiere de profesionales capacitados para el estudio, diseño e implementación de sistemas geotérmicos.

6. Otros aspectos de interés

Diego Morata investigador y director del CEGA de la Universidad de Chile manifestaró junto a su equipo el interés de trabajar en la implementación de un sistema de control de heladas geotérmico.

El Prof. PhD William Glassley de la Universidad de Davis, considera que hay alto potencial en la geotérmica de baja entalpía para el control de heladas, y manifestaró su interés de continuar la colaboración.



7. Anexos

Anexo 1 – Establecimiento de la oferta tecnológica

Para establecer la oferta tecnológica así como avanzar en el contacto y cotizaciones de proveedores del equipamiento requerido ; se procedió a realizar una revisión de las empresas que proveen de servicios de ingeniería y equipamientos de geotermia en Chile , a partir de las base de datos de CAMCHAL Cámara Chileno Alemana Rubro <energía, ACHEGEO A.G. asociación gremial de geotermia, del Registro de Exploraciones Geotérmicas del Servicio Nacional de Geología y Minería, la publicación Focus on Chile y búsqueda en internet los que fueron contactados: via mail, telefónica y personalmente; considerando que la oferta es amplia y variada se priorizo aquellas empresas cuya capacidad de respuesta y atención al cliente en la preventa fuera de mayor calidad y prontitud (algunas ni siquiera responden) quedándonos en contacto a la fecha con 13 empresas nacionales y así establecer de acuerdo a la información que entregaban la oferta tecnológica disponible.

Así también se realizó una búsqueda de proveedores en EEUU a cargo de W. Glassley PhD.

Proyectistas, Proveedores de servicios y equipamientos de geotermia-CHILE

Antes que todo debemos recordar que existen diferentes tipos de energía geotérmica desde baja a alta temperatura y de acuerdo a ello las aplicaciones que se pueden dar a un fluido geotermal dependen de su contenido de calor o entalpía.

Tipos de energía geotérmica

1. **Muy baja temperatura:** Menos de 30°C; puede ser utilizada para la calefacción muy climatización, necesitando emplear bombas de calor
2. **Baja temperatura:** Entre 30 y 90°C
Su contenido de calor es insuficiente para producir energía eléctrica, pero es adecuado para calefacción de edificios y en determinados procesos agrícolas e industriales
3. **Media temperatura:** Entre 90 a 150 °C
Permite producir energía eléctrica utilizando un fluido de intercambio, que es el que alimenta a las centrales
4. **Alta temperatura:** Más de 150°C Permite transformar directamente el vapor en agua eléctrica.

Tipos de empresas

En Chile existen principalmente 2 tipos de empresas de proyectos:





- 1.-Media a alta entalpía. Las empresas de ingeniería que proveen de servicios para la evaluación, tramitación legal e instalación de exploraciones geotérmicas de media y alta entalpía, que mayoritariamente han nacido al amparo del negocio minero por lo cual se dedican a la explotación de recursos geotérmicos para aplicaciones tales como: generación eléctrica, extracción de sustancias químicas, recuperación de metales entre otros. Con estudios en desarrollo en la alta cordillera y se abastecen de equipamiento directamente de fabricantes extranjeros o los representan.
- 2.- Baja Entalpía: Empresas profesionales de tamaño menor que además de tener la representación de equipos fabricados en Norteamérica, China y Europa y proveen de servicios para el desarrollo de proyectos de muy baja a baja entalpía.

Empresas proveedoras con proyecto de media a alta entalpía

De ellas se ha seleccionado las más importantes a partir del listado de concesiones de exploración de energía geotérmica vigente de la Comisión Nacional de Energía que tienen concesiones de exploración en proceso o exploración concedida o están en exploración activa.

1. INFINGERGEO SPA ex SERVILAND MINERGY S.A

www.servilandminergy.com/

INFINGERGEO SpA., es una empresa chilena del grupo ECM S.A., dedicada a la exploración y explotación de energía geotérmica para la generación de electricidad. Equipo multidisciplinario de profesionales y técnicos de reconocida experiencia en el rubro de las energías renovables, que han participado tanto en Chile como en el extranjero en múltiples proyectos de energías renovables. Se trata de la ex SERVILAND MINERGY SA.

2. ENERGY DEVELOPMENT (EDC) CORPORATION CHILE LIMITADA

www.energy.com.ph/

Se define como pionera en la industria de la energía geotérmica con más de 30 años dando viabilidad al negocio, ayudando a descubrir nuevas formas, desarrollando y comercializando energía renovable en todo el mundo , con grandes proyectos.

3. ENERGIA ANDINA SA

www.energiandina.cl/

Es una compañía dedicada a la exploración y explotación de energía geotérmica y está constituida por dos accionistas: Antofagasta Minerals S.A. (50,13%) y Origin Energy Chile Ltda. (49,83%)





4. HOT ROCK CHILE SA

www.hotrockltda.com

Hot Rock es un desarrollador de proyectos geotérmicos de origen australiano con activos en Chile y Perú. En Chile, la compañía cuenta con 13 concesiones de exploración que comprende siete proyectos con seis aplicaciones en el proceso; y cuatro exploraciones y seis aplicaciones en el proceso en el Perú. Hot Rock se constituyó en 2006 y tiene su sede en Brisbane, Australia.

5. GEOTERMICA DEL NORTE

[www.enelgreenpower.com/en-](http://www.enelgreenpower.com/en-GB/chile_newcountries/power_plants/plants/chile/ongoing_projects/geothermal_development/)

[GB/chile_newcountries/power_plants/plants/chile/ongoing_projects/geothermal_development/](http://www.enelgreenpower.com/en-GB/chile_newcountries/power_plants/plants/chile/ongoing_projects/geothermal_development/)

Geotérmica del Norte SA (GDN), una empresa de riesgo compartido entre Enel Green Power de Italia (51,4%) y la petrolera estatal de Chile Enap (48,6%), se formó en 2005 para desarrollar, explorar y explotar los recursos geotérmicos en Chile.

Empresas de media a alta entalpía, con menor presencia en los proyectos nacionales, a la fecha

1. MRP GEOTERMIA Chile Ltda

geotermia.cl/

Es una compañía filial de la eléctrica Mighty River Power de Nueva Zelanda, que nace legalmente en 2013 luego que ésta última decidiera tomar el control de la empresa tras cinco años de participar como socio a través de un fondo de inversiones que dio vida, en 2007, a GeoGlobal Energy (GGE).

2. GeoThermHydro

www.geothermhydro.com/

GeoThermHydro es la fusión de dos de las más prestigiosas empresas de desarrollo geotérmico de Islandia, ISOR y Verkís. GTH es la representante de estas empresas para Chile y Latinoamérica, y ofrece lo mejor del conocimiento Islandés en la utilización de los recursos geotérmicos con la capacidad de cubrir todo el espectro de servicios relacionados, de manera de ser aliado estratégico en el desarrollo de su proyecto energético.

GeoThermHydro se estableció con el objetivo de proporcionar servicios especializados en América Latina. La Compañía cuenta con una oficina ubicada en Santiago de Chile que constituirá la plataforma de negocios que cubre las necesidades del mercado latinoamericano de desarrollo de energía renovable.

3. Magma Energy Chile





alterrapower.ca/Chile/default.aspx

Filial chilena de Magma Energy Corp. Empresa canadiense de energía geotérmica que se formó en 2008 como una filial de la empresa de generación de energía renovable con sede en Vancouver Alterra Power Corp. Centra su trabajo en la exploración, desarrollo y operación de proyectos de energía geotérmica a nivel mundial. La empresa actualmente es propietaria de una planta geotérmica en funcionamiento y una amplia cartera de prospectos de exploración geotérmica y proyectos de desarrollo en Argentina, Chile, Nicaragua, Perú y en el oeste de EE.UU.,

Magma Energy Chile Ltda. La compañía con sede en Santiago cuenta con tres concesiones de exploración geotérmica. Tres Puntas, Los Cristales y Pellado y una concesión de explotación, la Laguna del Maule, en Maule de Chile región (VII). Es propietaria de una participación del 30% en el proyecto geotérmico de Mariposa, compuesto por las concesiones Pellado y Laguna del Maule.

4 .Ormat Andina Energía Ltda.

www.ormat.com/

Ormat Andina Energía Ltda entra en Chile en representación legal de Ormat Technologies, Inc. Ormat es una empresa líder a nivel mundial en el sector de plantas geotermoeléctricas. Como compañía geotérmica, Ormat cuenta con más de cuatro décadas de experiencia en el desarrollo de soluciones energéticas ecológicas y avanzadas, principalmente en generación geotérmica y energía recuperada. Junto con diseñar(varias patentes) , desarrollar, construir, poseer, y operar plantas de energía geotérmica y energía recuperada en Estados Unidos y otros países, Ormat también diseña, manufactura y vende generadores y equipamiento de generación de poder para plantas geotermoeléctricas y generación de electricidad basada en energía recuperada.

Si bien se encuentra en EE.UU, desarrolla proyectos en todo el mundo

Empresas proveedoras con Proyecto de muy baja y baja entalpia

Su rubro principal es proveer de equipamiento - bombas de calor- y para apoyar a sus clientes han desarrollado un área de proyectos.

1 ODEN ENERGIA GEOTERMIA

www.oden.cl

Oden Importa y vende equipos geotérmicos para la producción de calefacción y agua caliente en forma segura y económica. Traen a Chile la experiencia y tecnología de los países europeos.

2. VOHER Ingenieria Eficiencia Energética

<http://www.voher.cl/>





Empresa de ingeniería especialista en optimización energética, dedicada principalmente a las energías renovables Fotovoltaica y Geotérmica. Exploran todos los campos de generación y distribución de energías renovables, diseñando y desarrollando soluciones innovadoras a través de la utilización de la ciencia y la tecnología.

Distribuidor de

Ecoforest (<http://ecoforest.es/espanol/productos/geotermia/descripcion-geotermia.php?cur=330>)

Stiebel Eltron (<http://www.stiebel-eltron.es/energias-renovables/productos/>)

Energie (<http://www.energie.pt/es/>)

3. E Nativa

www.enativa.cl

Empresa creada para investigar, desarrollar y comercializar la energía geotérmica en Chile, entregando una solución ambientalmente compatible con el desarrollo del país.

Proveen de equipos para calefaccionar, producir agua caliente sanitaria, temperar piscinas y enfriar ambientes de todo tipo, provenientes de Europa.

4. Anwo

www.anwo.cl

Empresa nacional de larga data en la calefacción que ha incorporado la venta de equipos para la obtención de energía geotérmica, proveen de bombas de calor y todos los equipos necesarios. No realizan los proyectos, pero cuentan con instaladores proyectistas asociados. Su especialidad: Climatización de Edificios y galpones.





Proyectistas, Proveedores de servicios y equipamientos de geotermia-EEUU

Company	Phone	E-mail	Web Site
Astec Underground			www.astecunderground.com
Bard Manufacturing Company, Inc.			http://www.bardhvac.com/info_cntr_Geothermal_Tax_Credit.shtml
Carrier Corp. / Bryant Heating & Cooling			www.carriergeo.com
ClimateMaster, Inc.			
ClimateMaster, Inc.			
ClimateMaster, Inc.			www.climatemaster.com
Daikin-McQuay			http://www.mcquay.com/McQuay/DesignSolutions/Geothermal
Enertech Manufacturing, LLC			http://www.enertechmfg.com/
Enertech Manufacturing, LLC			http://www.enertechmfg.com/
FHP - Bosch Group			www.fhp-mfg.com
FHP - Bosch Group			http://www.fhp-mfg.com/?p=geothermal_technology
FHP - Bosch Group			www.fhp-mfg.com
Gaia Geothermal, LLC			www.gaiageo.com
Geofinity Manufacturing, Inc.			http://www.geofinitymanufacturing.com/
Geo-Flo Products Corporation			http://www.geo-flo.com/
Geo-Flo Products Corporation			http://www.geo-flo.com/
GeoMaster, LLC			http://www.geoexcel.com/
GeoSmart Energy, Inc.			www.geosmartenergy.com
GRUNDFOS Pumps Corporation			www.grundfos.com
ISCO Industries, LLC			www.isco-pipe.com
K & M Shillingford, Inc. (KMS)			http://www.kms-intl.com/
Modine Manufacturing Company			http://www.modine.com/
REHAU Construction, LLC			www.REHAU-NA.com
Trane - Ingersoll Rand			http://www.americanstandardair.com/
Trison Construction, Inc.			www.trisongeothermal.com
Water Energy Distributors, Inc.			www.northeastgeo.com
WaterFurnace International, Inc.			
WaterFurnace International, Inc.			www.waterfurnace.com
WaterFurnace International, Inc.			
WaterFurnace Renewable Energy, Inc.			www.waterfurnace.com





Oferta tecnológica

La oferta tecnológica en el ámbito de la geotermia está disponible en todo el mundo incluido Chile, esto último debido a los tratados de libre comercio de nuestro país que permite la importación de productos de diferentes mercados incluidos los equipamientos para la extracción geotérmica, siendo el aspecto débil del sistema en Chile la disociación que existe entre grandes proyectos para la minería y proyectos a muy baja escala para calefacción sin haberse potenciado la oferta para proyectos de tamaño mediano.

A continuación describiremos con más detalle las diferentes tipos de energía geotérmica basados en el Boletín Carta_geotermica del Viento de Energías Renovables publicado el 2011 donde se describe , si está disponible la tecnología ,sus barreras y parámetros de comparación con los otros tipos de energía geotérmica en cuanto a eficiencia y costo principalmente.



Geotermia de Alta Entalpía

Vapor Caliente (Dry Steam)

¿En que consiste?

Su principio de funcionamiento se basa en la transferencia de energía térmica, desde las capas interiores de la tierra, para generación de energía eléctrica. En particular, la tecnología de vapor caliente consiste en la extracción de vapor seco saturado o supercalentado a presión sobre la atmósfera, desde un pozo profundo dominado por vapor. Se envía a través de tuberías directamente al sistema de generación, para luego ser descargado de manera directa a la atmósfera o bien, condensado y en algunos casos, reinyectado al pozo.

Barreras

Las principales barreras son la escasa identificación y catastro de las fuentes disponibles, el alto costo de inversión, sus altos riesgos de exploración y desarrollo, la escasa cultura local en geotermia, sumada a la mayor sensibilidad de la población en temas ambientales.

Disponibilidad de tecnología

Este tipo de tecnología se encuentra bien desarrollada y comercialmente disponible.

Parámetros comparativos

Potencia:	Descarga atmosférica: 2.5 – 5 MWe Condensador: 50 MWe - 110 MWe	● ● ●
Factor de Planta:	80 – 90%	● ●
Eficiencia de Conversión:	Generación térmica: 40 – 65% Generación eléctrica: 10 – 15%	● ●
Costos de inversión:	1.600 – 3.200 USD/kW	● ● ●
Costos de operación y Mantenimiento:	0,04 – 0,1 USD/kWh	● ●
Costo medio de la energía:	8,2 – 17,9 centavos USD/kWh	● ● ●

Fuente. Centro de Energías Renovables, 2011

Aire caliente. Flash/wet steam

¿En qué consiste?

Se basa en la transferencia de energía térmica desde las capas interiores de la tierra para generación de energía eléctrica. En particular, la tecnología explota reservorios de vapor húmedo dominados por agua. Los fluidos hidrotermales de temperatura superior a 360 °F (182 °C) se pueden utilizar en plantas de flash para generar electricidad. El fluido se rocía

en un tanque que esta a una presión mucho más baja que el líquido inyectado, lo que hace que parte del líquido se evapore rápidamente (flash). El vapor se envía a una turbina, que impulsa un generador.

Barreras

Las principales barreras son la escasa identificación y catastro de las fuentes disponibles, el alto costo de inversión, sus altos riesgos de exploración y desarrollo y la escasa cultura local en geotermia, sumada a la mayor sensibilidad de la población en temas ambientales

Disponibilidad de tecnología

Este tipo de tecnología se encuentra bien desarrollada y comercialmente disponible. Es la tecnología de mayor probabilidad de aplicación en Chile, dado el tipo de recursos geotérmicos disponibles.

Parámetros comparativos

Potencia:	2 MWe – 45 MWe	● ●
Factor de Planta:	80 – 90%	● ●
Eficiencia de Conversión:	Generación térmica: 40 – 65% Generación eléctrica: 12 – 18%	● ●
Costos de inversión:	2.200 – 4.200 USD/kW	● ●
Costos de operación y Mantenimiento:	0,04 – 0,14 USD/kWh	● ●
Costo medio de la energía:	10.1 – 24.4 centavos USD/kWh	● ●

Fuente. Centro de Energías Renovables, 2011

Roca Seca Caliente (Hot Dry Rock HDR) o sistemas geotérmicos mejorados (EGS)

¿En qué consiste?

Su principio de funcionamiento se basa en la transferencia de energía térmica desde las capas interiores de la tierra para generación de energía eléctrica. En particular, la tecnología de roca seca aprovecha el calor contenido en una formación geológica de alta temperatura con poco o sin ningún contenido de agua, mediante la creación de un depósito geotérmico artificial producido al perforar pozos profundos en la roca. El agua es inyectada desde la superficie hacia el pozo, donde aumenta su temperatura y luego es extraído hacia la superficie para generar electricidad mediante turbinas.

Barreras

Las principales barreras son la escasa identificación y catastro de las fuentes disponibles, el alto costo de inversión, sus altos riesgos de exploración y desarrollo, la escasa cultura

local en geotermia, sumada a la mayor sensibilidad de la población en temas ambientales, y el requerimiento de agua para inyección.

Disponibilidad de tecnología

Es una tecnología que se encuentra en etapa de investigación y desarrollo; sin embargo ya hay países que la están usando.

Parámetros comparativos

Potencia:	1 MWe – 10 MWe	●
Factor de Planta:	85– 95%	● ●
Eficiencia de Conversión:	Generación térmica: 40 – 65% Generación eléctrica: 10 – 17%	● ●
Costos de inversión:	3.800 – 7.850 USD/kW	●
Costos de operación y Mantenimiento:	0.1 – 0.18 USD/kWh	●
Costo medio de la energía:	18.9 – 36.4 centavos USD/kWh	●

Fuente. Centro de Energías Renovables, 2011

Geotermia de Mediana Entalpía

Centrales de Agua Termal (C. Binarias)-Mediana entalpia

¿En qué consiste?

Basa su funcionamiento en la extracción de calor desde la tierra para su aprovechamiento directo o para generación de electricidad, utilizando el vapor extraído para poner en operación sistemas de turbinas. Esta tecnología convierte calor geotérmico de fuentes de baja y media entalpía, dominadas por agua, y a una temperatura menor a la factible de utilizar por sistemas de vapor Flash. Estos generadores pasan a través de un intercambiador de calor por donde circula un fluido de trabajo, de bajo punto de ebullición, generando vapor, que es utilizado para impulsar la turbina del generador.

Barreras

Es la tecnología considerada como la forma más costo efectivo y confiable para convertir grandes cantidades de recursos geotérmicos de baja temperatura en electricidad, y se sabe que este tipo de fuentes de recursos geotérmicos se encuentran disponibles en profundidades accesibles en cualquier parte del mundo.

Disponibilidad de tecnología

Este tipo de tecnología se encuentra bien desarrollada y comercialmente disponible.

Parámetros comparativos

Potencia:	0.1 MWe – 5 MWe	●
Factor de Planta:	80 – 95%	● ● ●
Eficiencia de Conversión:	Generación térmica: 16 – 54% Generación eléctrica: 8 – 15%	● ●
Costos de inversión:	2.800 – 6.100 USD/kW	● ●
Costos de operación y Mantenimiento:	0,08 – 0.14 USD/kWh	●
Costo medio de la energía:	15.4 – 29.1 centavos USD/kWh	●

Fuente. Centro de Energías Renovables, 2011

Geomagmática - mediana entalpía

¿En qué consiste?

Basa su funcionamiento en la extracción de calor desde la tierra, utilizando un fluido termodinámico de bajo punto de ebullición en un circuito cerrado, el cual al transformarse en vapor a alta presión en contacto con la fuente de calor, puede impulsar un sistema integrado de turbinas-generator. Una vez condensado el fluido de trabajo, vuelve a la parte inferior del circuito donde retomar calor desde la fuente geotérmica. En particular, la tecnología geomagmática busca aprovechar recursos geotérmicos de menor temperatura (100 °C a 175 °C) sin la utilización de agua y sin emisiones de ningún tipo.

Barreras

Por establecer según normativas medioambientales de cada país, aparentemente no debería presentar.

Disponibilidad de tecnología

Prototipos en desarrollo por Power Tube Inc.

Parámetros comparativos

Potencia:	1 – 10 MW	● ● ●
Factor de Planta:	85 a 90%	● ●
Eficiencia de Conversión:	Generación eléctrica 20 a 30%	● ●
Costos de inversión:	No disponible	
Costos de operación y Mantenimiento:	No disponible	
Costo medio de la energía:	No disponible	

Fuente. Centro de Energías Renovables, 2011

Geotermia de Baja Entalpía

Captador Horizontal

¿En qué consiste?

Basa su funcionamiento en la transferencia de calor entre el subsuelo a baja profundidad y un fluido intercambiador de calor que transporta la energía térmica. Dichos fluidos, una vez calentados o enfriados en el intercambiador de calor enterrado, son dirigidos hacia una bomba de calor que permite aprovechar la capacidad de calentar o enfriar el espacio al cual está destinado el sistema. En este caso, el intercambiador de calor aprovecha el calor del subsuelo, estable durante el día y noche y durante el año entre 10 y 15°C. El sistema se encuentra formado por tubos captadores.

Barreras

Las principales barreras son los altos costos de inversión, los riesgos de exploración y desarrollo para acceder a las fuentes de calor.

Es la opción menos costosa, sólo si es que se cuenta con suelos adecuados.

Usualmente, se implementa en construcciones nuevas debido a la cantidad de zanjas que deben ser cavadas.

Disponibilidad de tecnología

Este tipo de tecnología se encuentra bien desarrollada y comercialmente disponible.

Parámetros comparativos

Potencia:	10 – 500 kW	●
Factor de Planta:	30 - 36%	●
Eficiencia de Conversión:	50 – 60%	●
Costos de inversión:	1.200 – 4.100 USD/kW	● ●
Costos de operación y Mantenimiento:	0,04 – 0.1 USD/kWh	● ● ●
Costo medio de la energía:	7.3 – 21.4 centavos USD/kWh	● ●

Fuente. Centro de Energías Renovables, 2011

Captador Vertical (baja entalpía)

¿En qué consiste?

Basa su funcionamiento en la transferencia de calor desde el subsuelo a baja y mediana profundidad, hacia tubos colectores cuyos fluidos internos transportan la energía térmica. Una vez calentados los fluidos en el intercambiador de calor enterrado, se dirigen a una bomba de calor que permite aprovechar la capacidad de calentar o enfriar un espacio. El intercambiador de calor está formado por series de tubos captadores instalados de forma vertical, a profundidades de hasta 150 metros bajo la superficie, en forma de U o cañerías coaxiales. A estas profundidades pueden captar temperaturas entre 60 y 90°C.; por lo general se realiza a menor profundidad por lo cual la temperatura es menor a 30°C.

Barreras

El uso de captadores verticales resulta mucho menos costoso que los captadores horizontales y necesitan de menor superficie para su instalación. Sin embargo, requiere de perforaciones verticales a mayor profundidad y, por lo tanto, de equipos especiales. Las principales barreras son los altos costos de inversión asociado a la excavación por las perforaciones, la importancia de evaluar el tiempo de recuperación de inversión.

Disponibilidad de tecnología

Este tipo de tecnología se encuentra bien desarrollada y comercialmente disponible.

Parámetros comparativos

Potencia:	100 – 2.500 KW	● ● ●
Factor de Planta:	32 - 39%	● ● ●
Eficiencia de Conversión:	65 – 75%	● ● ●
Costos de inversión:	1.350 – 3.675 USD/kW	● ●
Costos de operación y Mantenimiento:	0,06 – 0.12 USD/kWh	●
Costo medio de la energía:	9.3 – 20.6 centavos USD/kWh	● ●

Fuente. Centro de energías renovables, 2011

Status y desarrollo de la tecnología a partir del 2015

La última publicación de geotermia de la CEE "2015 JRC Geothermal Energy Status Report" da cuenta de un resumen de la situación actualizada a nivel mundial de la tecnología que se está usando en geotermia así como el programa de I+D destinado a mejorar los diferentes tipos de energía de hoy al 2020 (Ver este libro para las referencias originales).

A la fecha hay un consenso general y se ha acordado la forma de clasificar las fuentes de calor y producción geotermal:

- La producción o generación de energía
- El uso directo
- bombas de calor geotérmicas (Geotermia superficial)

Producción de energía

El Factor de capacidad (anual de la planta de energía geotérmica promedio mundial (CF) se estima en un 70-80%.

Calor a ciclos de conversión de energía

La eficiencia del calor al ciclo de conversión de potencia, la carga y la demanda de la bomba juegan un papel importante en la estimación de los factores económicos en diferentes condiciones y los términos de referencia deben ser establecidos cuando se recolectan y comparan datos de diferentes autores. Las plantas de energía de vapor seco tienen la mayor eficiencia entre todas las centrales geotérmicas, alcanzando valores de 50 a 70% (DiPippo, 2012). El single-flash y centrales eléctricas de doble destello (doble flash) alcanzan eficiencias de entre el 30-35% y 35-45%, respectivamente, cuando la electricidad es el único producto. La eficiencia global se incrementa en gran medida mediante la adición de intercambiadores de calor y la producción de agua caliente ya que el factor de conversión en un intercambiador de calor es mucho mayor que la conversión de calor en electricidad. Las plantas binarias ORC pueden alcanzar eficiencias de entre 25% y 45% (Emerging Energy Research, 2009). El ciclo binario Kalina puede, bajo ciertas condiciones de diseño, operar con una eficiencia de ciclo más alta de entre el 30% y el 65% (Emerging Energy Research, 2009).

La eficiencia está determinada en gran medida por la temperatura del yacimiento, pero los esfuerzos de I + D que permiten eficiencia del proceso de conversión incluyen: mejores intercambiadores de calor y las boquillas. Las mejoras de eficiencia no son una prioridad del sector

Métodos de perforación

La perforación representa 30% a 50% del costo de un proyecto de electricidad geotérmica hidrotermal y más de la mitad de las EGS totales costo. Por lo tanto, reducir los costos de perforación es una cuestión clave para la reducción de los costos, del capital invertir unificación y la operación de plantas de energía geotérmica. La técnica de perforación profunda establecida es la perforación rotatoria. Desde el año 1909 se trabaja en el desarrollo y aplicación de diferentes técnicas de perforación hasta llegar al año 1990 con la perforación horizontal, cementación de circulación inversa, durante la perforación, y la incorporación de formulaciones de fluidos ambientalmente seguros.



A pesar de estas mejoras, los costos de perforación continúan siendo alta y por lo tanto se ha hecho hincapié en el desarrollo de nuevas tecnologías de perforación (Dumas et al., 2013). El desarrollo de nuevos métodos de perforación sigue avanzando, ellos incluyen: jetting (high performance/mud jet bits), thermal drilling (spallation, molten ion penetration, plasma bit), direct stream, millimetre wave, high voltage electro im-pulses. Muchos de estos nuevos métodos se han demostrado en el laboratorio, pero no en condiciones de campo a profundidades significativas.

En la actualidad, dos proyectos centrados en perforaciones profundas están operando en el marco de Horizonte 2020. "Project DESCRAMBLE" perforaciones en condiciones supercríticas para el estudio de los componentes de perforación, así como materiales de terminación de los pozos, diseño y control. El proyecto "Thermodrill" combina perforación rotatoria-convencional con agua en chorro con el objetivo de lograr la perforación de 50% más rápido en roca dura, además de reducir los costos en un 30%, así como la reducción de los riesgos de sismicidad inducida. Ambos proyectos se iniciaron en 2015.

Tecnologías de perforación y terminación

Los desafíos actuales que enfrenta la industria de la perforación geotérmica no son técnicos, sino comerciales (relacionados con los costos) si bien los días de perforación se han reducido, pero los costos de terminación son todavía caros y pueden reducirse al disminuir la complejidad y estandarizar los componentes a usar de allí que está en marcha el desarrollo hacia los equipos de perforación totalmente automatizados que llevan a un menor riesgo de personal y la disminución de la duración de perforación. Por último, se prevé que la perforación geotérmica empezará a usar los sistemas rotativos direccionales (RSS) adoptadas por la industria del Petróleo y Gas en la facilitación de perforación de alcance extendido y / o pozos más profundos.

Intercambiadores de calor

En las plantas de energía geotérmica, se puede instalar una serie de intercambiadores de calor, el cumplimiento diversas tareas tales como pre-calentamiento, y super-calentamiento y que sirve como evaporador o condensador. Los Intercambiadores de calor con frecuencia entran en contacto con fluidos corrosivos a altas temperaturas en plantas geotérmicas. El desarrollo de los intercambiadores de calor de nuevos materiales se menciona como una acción clave que pueden beneficiar a varias tecnologías (plantas térmicas e híbridas, solar, cogeneración, pilas de combustible) en la Hoja de Ruta rallado-Inte del SET-Plan.

Sistemas de reducción de emisiones

Los gases que no se condensan con el vapor en los condensadores de la planta de energía se conocen como gases no condensables (NCG). Las principales especies de NCG en vapor geotérmico son el dióxido de carbono (CO_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S). El amoníaco (NH_4) es a menudo ausente, pero puede ser de hasta 10 vol. % En el vapor. Pueden existir cantidades de pequeña de H_2 , N_2 , Ar, CH_4 , CO y Hg entre los gases emitidos.

Existen muchas tecnologías para la eliminación de H_2S a partir de gases y la selección de la tecnología depende de la cantidad de gas y la composición y el nivel de eliminación de H_2S necesario. Estos incluyen procesos líquidos azufre redox de recuperación (por ejemplo Stretford, LO-CAT), el proceso Claus modificado (fase gaseosa oxidación),





quemar / procesos de matorral, quemar / ventilación procesos, aminas y disolventes físicos, H₂S lavado con sosa cáustica, fregar con otros minerales de tierras alcalinas, proceso de ácido sulfúrico húmedo (WSA), AMIS (Mercurio y la eliminación de H₂S), inyección de gas ácido directa, Paques / thiopaq, ThioSolv, caja y la absorción de agua y la inyección. Estas tecnologías son de diferente madurez, algunos han sido desarrollados para otras industrias y modificado para la industria geotérmica y otras se desarrolló dentro de la industria geotérmica. Recientemente ENEL Green Power ha completado la instalación de su sistema patentado de la AMIS a todas sus plantas de energía geotérmica en Toscana reducción de H₂S y emisiones de Hg con una eficacia superior a 95%.

Re-inyección

La energía geotérmica es considerada un recurso renovable. Sin embargo, el recurso puede ser sobreexplotado si no hay equilibrio entre la producción y el flujo de entrada en el recurso

Los esfuerzos de investigación se centran en: el mantenimiento de la tasa de flujo continuo sin la necesidad de mantener presiones anormalmente altas en los pozos, prevención de la escala de minerales en el depósito inmediatamente adyacente a la reinyección de los pozos, regulación de la temperatura (para la estimulación de la fractura térmica y control de la química de los fluidos para permitir la gestión óptima del depósito).

Generación flexible de electricidad

Las fuentes de energía intermitentes como la eólica y la energía solar fotovoltaica pueden ser acompañadas de plantas de energía geotérmica (EGS) de tal manera de estabiliza las redes eléctricas.

EGS no son el clima dependiente tales como otras fuentes de energías renovables y por lo tanto puede proporcionar la carga de base al sistema. Actualmente, casi todas las plantas geotérmicas funcionan como plantas de carga base pero se necesita más investigación y desarrollo para acoplar la producción de energía geotérmica con la tecnología de almacenamiento de energía (en otras palabras, guardar el calor en el subterráneo para uso posterior).

El uso directo

Aplicaciones de uso directo de los fluidos geotérmicos van a temperaturas de unos pocos grados C a 150°C. Existen diferentes categorías de uso directo, por ejemplo: calefacción urbana, uso en invernaderos, los estanques de acuicultura, secado agrícola, usos industriales, la refrigeración, la nieve de fusión, en piscinas (Lund, 2011)

A la fecha los sistemas de calefacción en el sector geotérmico son los más dinámicos en desarrollo (EGEC 2013). Desarrollos más recientes incluyen conceptos para extender la vida de los proyectos de diseño dobles mediante la perforación de un tercer pozo de producción y la conversión de los antiguos dos pozos en pozos de inyección (sistema triple). Este concepto, aplicado principalmente en Francia, puede permitir que por 30 años adicionales de uso del recurso geotérmico (EGEC, 2013a). En cuanto a los nuevos sistemas de calefacción de espacio/distrito, se instalan cada vez más sistemas de triplete. También los sistemas más pequeños son cada vez más común con los recursos superficiales, a veces se utilizan en combinación con grandes sistemas de bomba de calor (EGEC, 2013).





Más recientemente, vuelve a fuentes geotérmicas de baja a media temperatura se utilizan ahora para la producción combinada de calor y la producción de energía con una planta binaria ciclo de potencia primero y el uso directo posterior, que también mejora la economía de los proyectos geotérmicos (Lund, 2011).

Geotermia superficial

Las bombas de calor geotérmicas (GSHP) utilizan la energía geotérmica superficial que está disponible en casi todas partes. Ellos convierten la energía geotérmica de baja temperatura a la energía térmica a una temperatura más alta que puede ser utilizado para el calor ambiente o calentar agua (Ochsner, 2008). Por lo general, se usa un refrigerante como fluido de trabajo en un ciclo cerrado (Self et al., 2013). Una solución anticongelante se hace circular dentro de una bobina cerrada y intercambia calor con la fuente de calor / sumidero través del intercambiador de calor de tierra.

La COP depende de la diferencia de temperatura entre la fuente de calor y el disipador de calor. Cuanto menor sea la diferencia de temperatura, más eficiente será la bomba de calor será. GSHP por lo general tienen un COP en el intervalo de 3-4, pero puede llegar incluso hasta 6 cuando bien diseñado (Goldstein et al. 2011, Puttagunta y Shapiro 2012, Carlsson et al. 2013).

Las principales áreas de desarrollo incluyen la facilidad de mantenimiento y reparación, sistemas de control mejorados, fluidos de trabajo más eficientes, y una mayor eficiencia de los auxiliares tales como bombas y ventiladores (Angelone y Labini, 2014).

Mejoramiento y optimización de los colectores de tierra mediante la optimización de material de diseño y uniones (RHC 2014). Actualmente se usan tubos de plástico principalmente para los colectores de tierra que ofrecen bajo costo y resistencia a la corrosión, pero muestran una baja conductividad térmica (Angelone y Labini, 2014b). La energía geotérmica Hoja de ruta de la Plataforma Tecnológica Europea sobre Calefacción y Refrigeración Renovables recomienda el desarrollo de nuevos fluidos anticongelantes que sean ambientalmente benignos, y ofrecen mejores características térmicas que los fluidos actuales (RHC 2014). Se prevé estos avances anteriormente mencionados pueden aumentar la eficiencia de los sistemas GSHP. El Indicador de Rendimiento pozo resistencia térmica (R_b) se ha reducido en más de un 40% en los últimos diez años. El impacto global de este valor a un sistema geotérmico superficial definida está dada por la Hellström-eficiencia, que pasó de debajo del 60% a aproximadamente 75% en instalaciones del estado de la técnica en los últimos 10 años. Todavía hay margen de mejora, por lo que siempre se continúa el progreso tecnológico, la eficiencia de alrededor del 80% en 2020 parece alcanzable (CCI, 2014).



Anexo 2 – Encuestas

La encuesta corresponde a conversaciones sostenidas con diferentes actores del sector geotérmico en particular empresas agrícolas que han implementado como fuente energética la geotermia para conocer su experiencia.

6

E Nativa

Se conversó con el representante de la empresa Sr. Cristian Moreno. Ellos son proveedora de bombas de calor de origen chino del tipo; Bombas de calor aire-agua 380 V y bombas de calor agua agua. Para calefacción y enfriamiento; con precios mucho más bajos que la tecnología europea o norteamericana lo que les ha permitido liderar el mercado en los últimos años en proyectos de calentamiento de agua y acondicionado de ambientes. Su empresa además manifestó interés en participar en un proyecto de esta envergadura e importancia.

Unifrutti

Se entrevistó a don Julio encargado de mantención de la planta Unifrutti San Felipe; quien manifestó que ellos instalaron un sistema hidrotérmico con bomba de calor agua-agua para la producción de agua caliente sanitaria en las duchas de camarines y casino de planta de empresa, para reemplazar las calderas a gas licuado

Se tomó la decisión de realizarla con bombas de calor debido a que no se dispone en la zona de presión de agua suficiente para prender calefont, el riesgo con los trabajadores con el gas y otros sistemas resultaban más caro (calderas a gas licuado), así como la dependencia del abastecimiento de gas.

En el proceso de enfriado de las cámaras frigoríficas se utilizan los compresores que cuentan con una piscina de 20 m² de agua la cual usan para enfriar los compresores en su operación, visto que esa agua sale a 20°C porque se uso para enfriar algo que estaba calientes es usada para dar la partida a una bomba de calor que además se bastece de agua de la llave y la llevan de 8°C a 10°C que esta en forma normal a 30°C o más regulables en las duchas.

Problemas: En invierno como esa piscina esta al aire libre el agua estaba a muy v baja temperatura por lo cual no lograban dar la partida al sistema para cambiar la temperatura del agua, para ello cubrieron aislando la piscina del medio ambiente y disponer de agua a 20°C.

Otro problema es la calidad del agua que para trabajar en una bomba de calor debe ser muy limpia y el agua de san Felipe es muy salina lo que determino que no operaba la bomba de calor para ello debieron implementar 1 filtro y ablandadores al agua antes de entrar a la bomba de calor, resolviendo así el problema.



Actualmente incorporaron otra bomba de calor para calentar agua de lavado de manos en los packing y tienen contemplado climatizar el casino también con el mismo sistema.

Este método les permite: seguridad a los trabajadores, cero consumo de gas y cumplimiento de normas ambientales internacionales.

Abdo Fernández

El profesional desarrollo un proyecto con el apoyo de FIA para usar la geotermia como fuente de calor para un invernadero en la comuna de Lampa.

Para ello instalaron 2 bombas de calor agua –agua de 7,5 KW de potencia cada una, usando como fuente térmica agua de pozo.

Si bien el objetivo inicial era el uso de la tecnología de bomba de calor geotérmica para la climatización del invernadero durante el desarrollo del proyecto se dieron cuenta que para el clima de Lampa, no era necesario modificar la temperatura normal del invernadero para las hortalizas de hoja, además que el mantener una temperatura en el aire significa un consumo de energía mucho mayor. Por ello, optaron por redireccionar el proyecto y calefaccionar con la bomba de calor el agua usada en el cultivo hidropónico a la condición ideal requerida, lo que les permitió contar con una mayor productividad así como adelantar el proceso productivo a una época con mejores precios.

El estima que la bomba de calor será útil bajo condiciones climáticas más frías del país y un adecuado sistema de aislación de los invernaderos; pruebas que están realizando con el apoyo de CORFO y SNA en la zona sur de Chile.

Jorge Villarroel, Gerente General y dueño de empresa VOHER Ingeniería Eficiencia Energética

Empresa profesional conformada por Ingenieros civiles y mecánico UTFSM su foco principal es la ingeniería y el desarrollo de proyectos de ERNC incluida la geotermia, en lo que respecta a geotermia son representantes de:

Stiebel Eltron, empresa norteamericana que manejan 2 tecnologías: La primera opción es utilizar un calentador de agua Bomba de calor Accelera®. Que son calentadores de agua de bomba de calor y funcionan mediante la extracción de calor desde el aire ambiente que les rodea. Con ahorros comparable a un sistema de agua caliente solar térmica.

La segunda opción es instalar un sistema de agua termal caliente Stiebel Eltron Solar. Estos sistemas eficaces utilizan colectores solares montados en el techo o el suelo cerca de una casa para recoger la energía del sol. Esa energía se transfiere al agua en un tanque de almacenamiento de gran tamaño, listo para su uso. Sistemas de agua caliente solares pueden compensar más del 75% del uso de energía de agua caliente anual de un hogar.





Ecoforest empresa española, es la empresa líder del mercado con la más amplia gama de estufas de aire, agua y canalizables, con presencia en 14 países. Cuenta con su propio departamento de I+D+i. Disponen de desarrollos para la climatización o calefacción geotérmica usados en viviendas unifamiliares, con piscina climatizada, ya construidas o en construcción, invernaderos, naves industriales, hoteles, edificios de pisos, etc. Utilizando bombas: Bomba básica (3-12 kW y 5-22 y COP 4.6 a 5), Bomba compacta (3-12 kW y 5-22 kW COP 4.5 a 5) y de Bomba alta potencia (12-50 kW, 15-70 kW, 25-100 kW y COP 4,6-5).

No han implementado proyectos en el área agrícola, pero están evaluando el de Forestal Arauco para sus invernaderos, manifiestan un alto interés en nuestro proyecto para lo cual se comunicaron con su proveedor de España Ecoforest con quien se programó una reunión para fines del mes de enero del 2016.

Nos reunimos de la gerencia general y del operaciones, en lo cuales se evaluó la oferta disponible y proyectos realizados que corresponden principalmente a una combinación de fuentes de energía renovable no-convencionales dentro de lo cuales da el uso de geotermia con bombas de calor para abastecer de la energía calorica empresas agricolas y de la construccion.

Oden- Energía Geotérmica en Chile

Se solicitó en 3 oportunidades reunión y lo postergaron.

Viña Viu Manent, Santa Cruz

Se contactó para reunión a Juan Pablo Lecaros encargado de operaciones de la viña que cuenta con un sistema Aerotérmico con bomba de calor aire-agua, y combinación de radiadores y fan coil para calefacción y enfriamiento de oficinas utilizando el aire de galpones de las cavas.

Si bien este proyecto fue visitado por nuestra empresa cuando recién se implementó, es nuestro interés conocer su funcionamiento a la fecha por lo cual se acordó visita para la primera semana de Febrero del 2016. Se conversaron con Sr. Lecaros, quienes a la fecha continúan utilizando su fuente energética la cual ha resultado en un ahorro de un 30% del consumo tradicional y esperan poder ampliar el sistema a proveer de agua caliente duchas baños y cocina.





Anexo 3 – Reporte de terreno y análisis térmico

Valles de Pichidegua y San Fernando

Diego José Aravena Noemi
Mauricio Ernesto Muñoz Morales

Centro De Excelencia En Geotermia De Los Andes (CEGA)
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile

<http://www.cega.ing.uchile.cl/>

Santiago, Abril 2016

Introducción

El presente informe está subdividido en 3 capítulos principales más un anexo: En el primer capítulo se entrega un marco conceptual en torno a los usos directos de la energía geotérmica en el mundo, con énfasis en el funcionamiento de las bombas de calor geotérmicas. En el capítulo 2, se presenta la información recopilada durante el terreno realizado el 5 de abril del 2016 durante el cual se visitaron las comunas de Pichidegua y San Fernando, ubicadas en la provincia de Cachapoal en la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins (Figura 1). En la visita se pudieron medir propiedades físico-químicas de fluidos extraídos de tres pozos y un pozón surgente, junto con los perfiles de temperatura y conductividad eléctrica de 3 pozos. Se incluye un análisis de las propiedades hidráulicas del suelo, calculadas en base a pruebas de bombeo de dos pozos adicionales. En el tercer y último capítulo, se utiliza la información presentada previamente para sugerir posibles aplicaciones de bombas de calor geotérmicas en el contexto de los valles de Pichidegua y San Fernando.

Usos directos de recursos geotérmicos

Existen aplicaciones de la energía geotermal que no requieren utilizar fuentes termales ni perforar kilómetros para alcanzar altas temperaturas. Mediante el intercambio de calor con el subsuelo es posible aprovechar la inercia termal de las rocas y sedimentos, los que experimentan menos fluctuaciones de temperatura que el aire en la superficie





El uso directo de la geotermia es la aplicación más versátil y común para esta energía. Estimaciones de la capacidad térmica instalada en el mundo hasta el año 2015 indican que alcanza los 70.329 Mega Watts térmicos (MWt). Lo anterior representa un incremento del 45% respecto de 2010, creciendo a un tasa de 7,7% anual (Lund y Boyd 2015). La tasa de crecimiento de la capacidad instalada y utilización directa de la energía geotérmica en el mundo se muestra en la Figura 1. El aumento en el uso directo de la energía geotérmica se debe principalmente a un incremento en la instalación de bombas de calor geotérmicas, las que dominan ampliamente el abanico de usos más comunes (Figura 3).

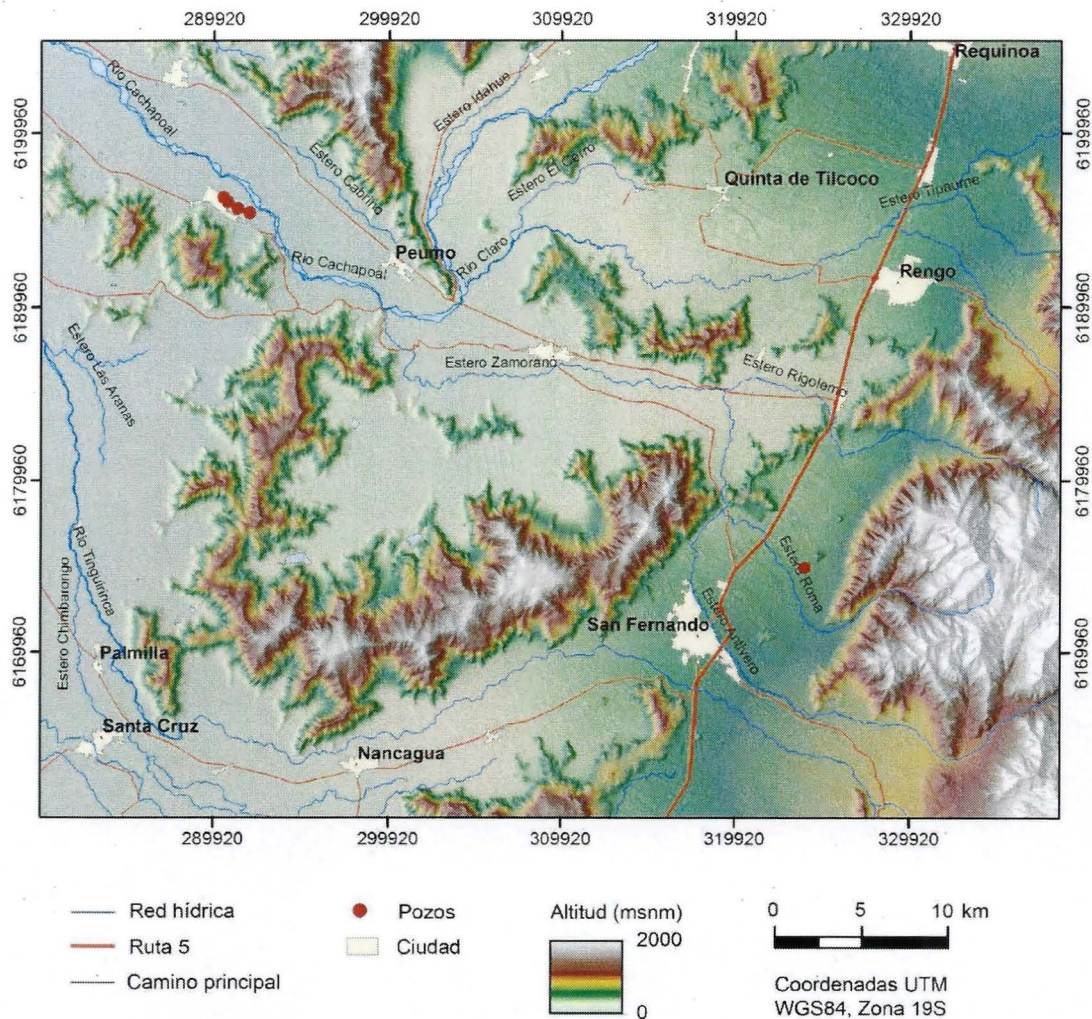


Figura 1. Mapa de elevaciones, red vial, red hídrica, principales centros urbanos y ubicación de pozos y pozón visitados en terreno.

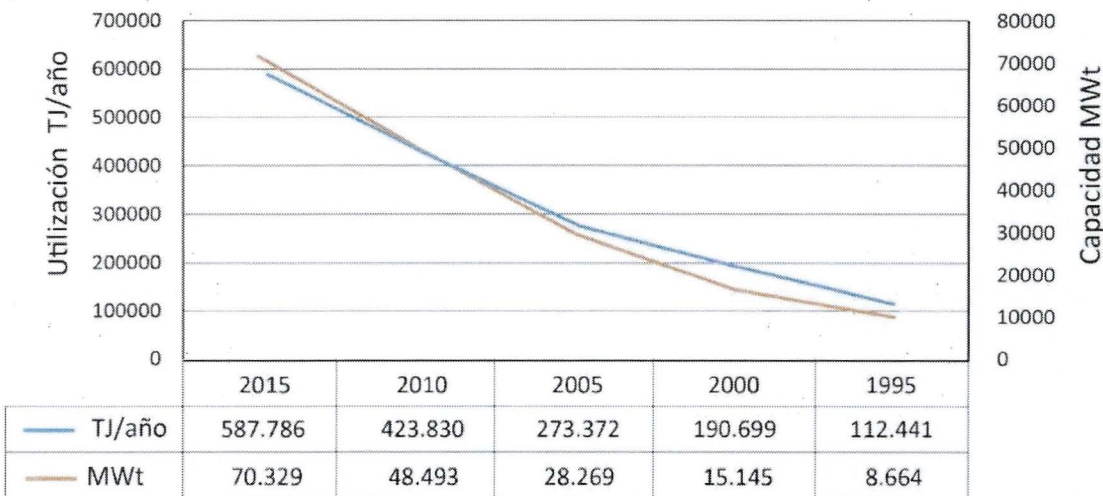


Figura 2. Utilización y capacidad instalada del uso directo de la energía geotérmica en el mundo entre 1995 y 2015. Datos de [Lund y Boyd, 2015](#).

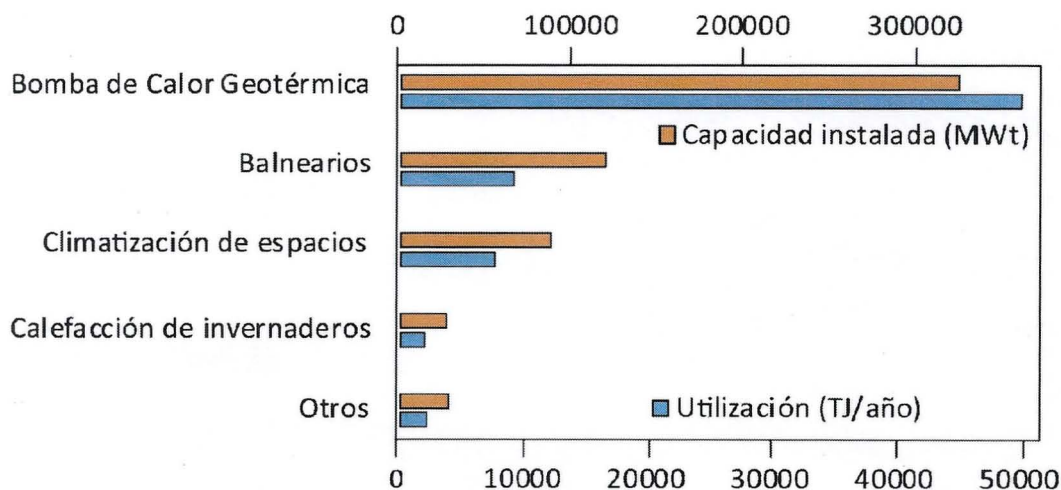


Figura 3. Utilización y capacidad instalada de diferentes usos directos de la energía geotérmica en el mundo. Datos de [Lund y Boyd, 2015](#).

Bomba de calor geotérmica

Una bomba de calor geotérmica utiliza el suelo como fuente/sumidero de calor para proveer climatización de espacios y agua caliente. Esta tecnología opera utilizando electricidad para activar compresores que proveen el trabajo necesario para la





concentración y transporte de la energía térmica. La bomba de calor puede invertirse en verano, para enfriar el agua del tanque de inercia termal. En ese caso el intercambiador de calor geotermal se ocupa para dispar calor en el subsuelo y el sistema de climatización enfría los ambientes climatizados.

El sistema de climatización mediante bomba de calor geotérmica se resume de la siguiente forma:

- i. Un intercambiador de calor geotérmico extrae calor del subsuelo, el que es trasladado a una bomba de calor.
- ii. En la bomba de calor, el calor se transfiere a un fluido refrigerante frío y hace que este hierva, hasta convertirse en un vapor de baja presión. En este paso la temperatura del fluido refrigerante aumenta ligeramente. Posteriormente, el vapor entra en un compresor, donde se aumenta la presión, lo que resulta en un aumento de la temperatura y presión del fluido refrigerante en estado gaseoso (en este paso es donde se consume electricidad). Finalmente, el gas refrigerante con alta temperatura y presión entra en el condensador donde libera calor que se traslada al tanque de inercia termal.
- iii. Opcionalmente, en cada instalación se puede incluir un estanque de inercia termal, donde el calor se almacena y distribuye al sistema de climatización y/o distribución de agua caliente. La utilización de este tanque reduce el consumo eléctrico en periodos de demandas *peak* al disminuir la utilización de la bomba de calor.
- iv. Para el sistema de climatización se recomienda utilizar losa radiante y/o *fancoil*, porque funcionan mejor con las temperaturas máximas que se pueden alcanzar en la bomba de calor (~45 °C).

De los componentes previamente mencionados, el único que cambia su configuración principal es el colector geotérmico que puede ser implementado básicamente de 3 maneras, las que detallamos a continuación:

i) Colector horizontal cerrado

El colector es enterrado a poca profundidad (1,5-3 m), donde la influencia de la temperatura ambiente y la radiación solar en el suelo pueden ser aprovechadas al máximo (Figura 3). Este sistema es relativamente económico, pues no requiere perforación de pozos y puede realizarse con una retroexcavadora o una pala. Una desventaja de este tipo de intercambiador es la gran cantidad de superficie que se debe cubrir con colectores. Generalmente se considera que la superficie a utilizar debe ser de un 150% de la superficie a climatizar. Aunque esta proporción es variable en función del tipo de colector y del contexto geo-hidrológico, existiendo configuraciones que permiten reducir esta proporción hasta a un 20%.

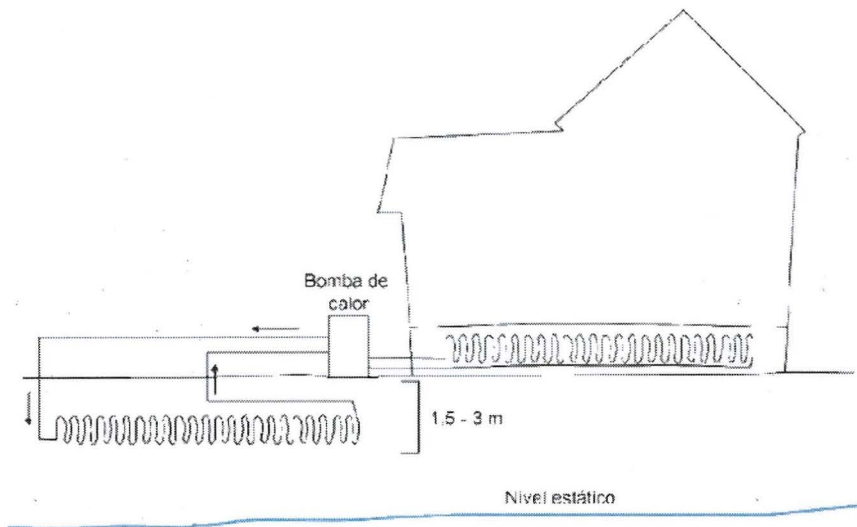


Figura 4. Colector de calor geotérmico de ciclo cerrado horizontal.

ii) Colector vertical cerrado

Esta configuración consiste en pozos cementados con una cañería en forma de U en su interior (Figura 2). En este tubo se hace circular un fluido (usualmente agua con anti-congelante), que transfiere calor al/desde el subsuelo. Esta configuración involucra la perforación de pozos (usualmente de 30 a 300 m), lo que si bien encarece los costos, permite utilizar mucho menos espacio por lo que es ideal para ser utilizado en zonas densamente pobladas. Este sistema es adecuado para edificaciones pequeñas, pero en el caso de edificaciones grandes cumple con la ventaja de no producir ninguna alteración composicional del agua subterránea y de no requerir derechos de aguas para su implementación.

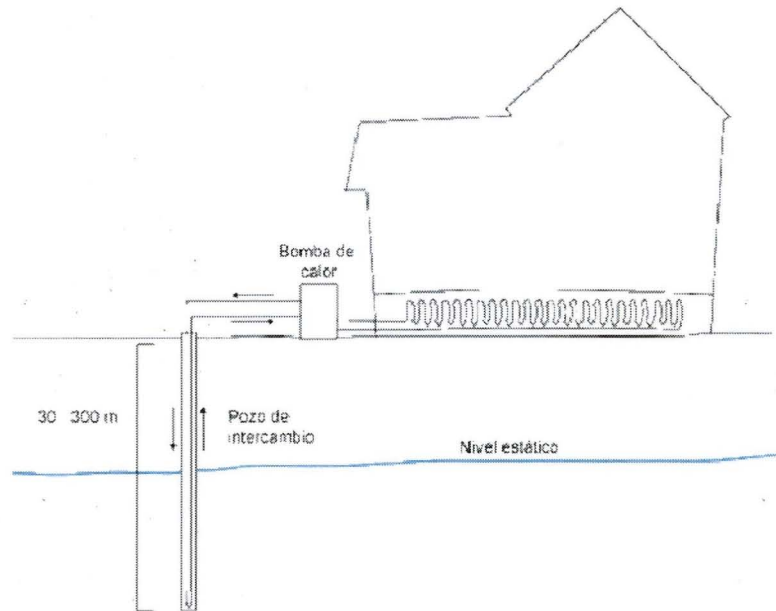


Figura 5. Colector de calor geotérmico de ciclo cerrado vertical.

iii) Colector vertical abierto

Consiste en un arreglo de pozos para la extracción de agua subterránea y pozos la re-inyección del agua. El intercambio de calor en la Bomba de Calor en superficie se hace con el agua subterránea (Self et al. 2013a). Este sistema es recomendable, para edificaciones grandes, pero se debe tener precaución con la posible precipitación de minerales en los pozos de re-inyección. Lo anterior llevaría un colapso del sistema. La manera de evitar este fenómeno, es realizar análisis químico al agua subterránea y predecir la posible precipitación de minerales.

Consiste en un arreglo de pozos para la extracción y reinyección del agua subterránea (Figura 6), la que intercambia calor con la bomba de calor. Este sistema es recomendable para edificaciones de gran carga térmica, pues generalmente presentan rendimientos superiores a los colectores cerrados (vertical u horizontal). Se debe tener precaución con la posible precipitación de minerales en los pozos de re-inyección, lo que podría colapsar el sistema. La manera de evitar este fenómeno, es realizar análisis químico al agua subterránea y predecir la posible precipitación de minerales.

En Chile se deben tener derechos de agua para su utilización, incluso si la totalidad del fluido se reinyecta.

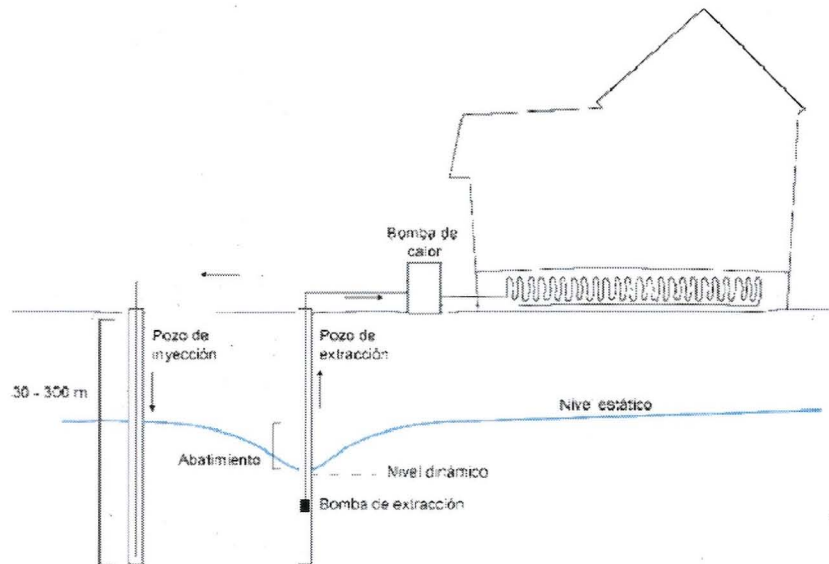


Figura 6. Colector de calor geotérmico de ciclo abierto vertical.

Marco Hidro-Geológico

El Pichidegua, el área de interés está sobre sedimentos fluviales depositados por el río Cachapoal. Además, existen sedimentos de remociones en masa que provienen desde los cerros, inmediatamente al sur (Plutón Pichidegua; Figura 7). De acuerdo a los pozos visitados, la profundidad del nivel estático está entre 3 y 10 m. La dirección de agua subterránea es hacia el oeste.

En San Fernando, el área de interés está sobre sedimentos aluviales y fluviales del estero Roma (Figura 7). De acuerdo a la información recopilada del comité de agua potable rural Miraflores Polonia Quilapan, el nivel estático está al menos a 4 metros de profundidad. En este caso, no hay información suficiente para determinar con certeza la dirección del agua subterránea.

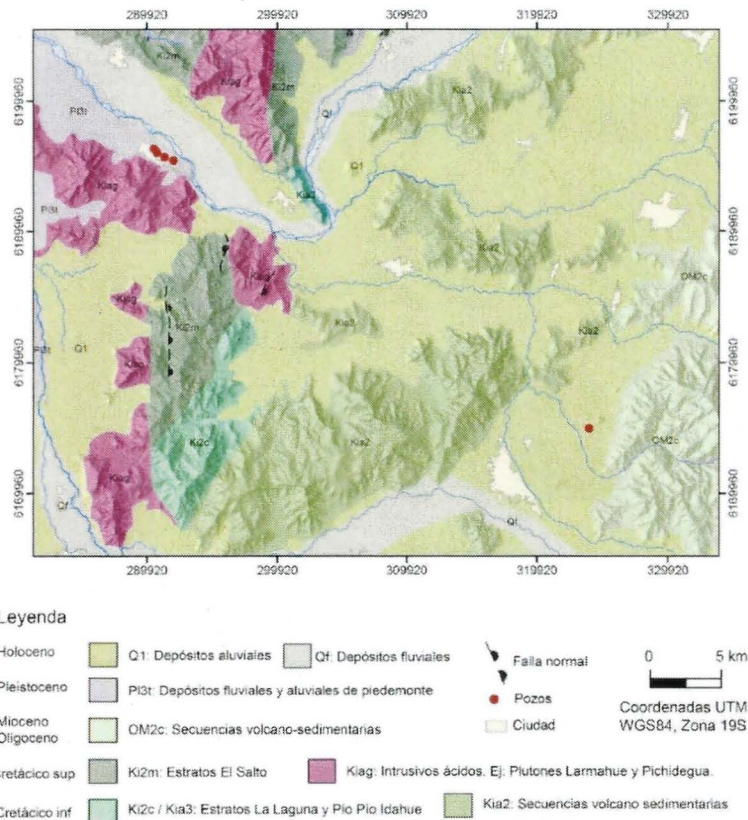


Figura 7. Mapa geológico de área de estudio. Modificado de Wall 1996; Sellés & Gana 2001; SERNAGEOMIN 2003.

Propiedades térmicas e hidráulicas de suelo

Temperatura del subsuelo y el agua subterránea

La temperatura del suelo y del agua subterránea es un parámetro de primer orden a la hora de establecer usos directos de la energía geotérmica. En general, La temperatura del suelo somera (1-2 m) es similar a la temperatura promedio anual del ambiente. Por otro lado, si se asume equilibrio térmico entre el agua subterránea y el suelo en que esta es transportada, la temperatura del agua entrega de manera directa la temperatura del suelo en el espacio saturado de agua.



Propiedades físico-químicas del agua extraída en pozos

Los resultados de las propiedades físico-químicas del agua subterránea extraída en los pozos de Pichidegua y San Fernando se resumen en la Tabla 1.

El pH es neutro, y la conductividad eléctrica permite inferir una baja proporción de sólidos disueltos en el agua subterránea. El potencial redox (Eh) indica que la proveniencia del agua subterránea es meteórica. Las temperaturas promedio de los pozos bordean los 17 a 19 °C, condiciones altamente favorables para calefaccionar en invierno.

Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica.

Los 3 pozos donde se realizaron perfiles de temperatura se comportan de manera similar mostrando una temperatura constante al pasar los primeros 2 a 4 metros desde el nivel estático Figura 8. La variación superficial se debe a la influencia de la temperatura ambiente.

La conductividad eléctrica es homogénea a lo largo de los pozos, lo que sugiere el acuífero asociado a cada pozo es homogéneo (Figura 8, der). Que la temperatura permanezca constante a lo largo del pozo (Figura 8, izq), indica una alta velocidad del agua subterránea, lo que se correlaciona con la buena conductividad hidráulica de los sedimentos (Tabla 2 Tabla 3).

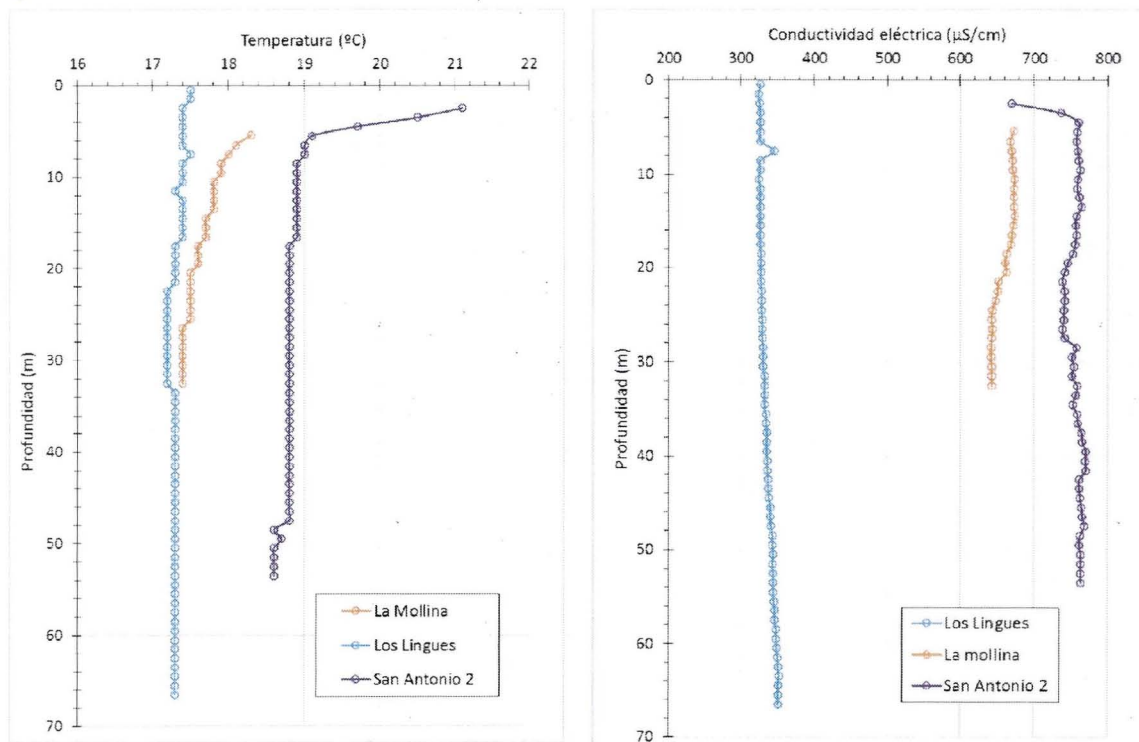


Figura 8. Perfiles de temperatura medidos en 3 pozos: La Molina y San Antonio 2 en Pichidegua. Los Lingues en San Fernando. Datos en anexos 0, 0 y 0. Mediciones de temperatura cada 0.5 m.

Propiedades hidráulicas de los acuíferos

Para estimar las propiedades hidráulicas en las zonas de interés (Pichidegua y San Fernando), se ocuparon datos de pruebas de pozo, de comités de agua potable rural, cercanos a las zonas de interés. En Pichidegua, se ocupó la prueba de bombeo y recuperación, en el pozo del comité de agua potable rural Los Aromos. En San Fernando, se ocupó la prueba de bombeo y recuperación, en el pozo del comité de agua potable rural Miraflores Polonia Quilapan.

Tabla 1. Ubicación (Datum WGS84, zona 19S), principales características y fotografías de pozos visitados durante el terreno. T° pozo= Temperatura promedio; C.E.=conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$); Eh= Potencial redox (mV).

Hacienda	UTM E	UTM N	Altitud (msnm)	Prof. (m)	Caudal max (l/s)	Nivel est.	Nivel din.	T° (°C)	T° pozo (°C)	pH	C.E.	Eh
San Antonio	290648	6196016	151	40	41	10	12	18.0	n.d.	7.5	773	167.
La Mollina	291252	6195639	157	40	46	6	9	17.6	17.6	7.3	815	125.
San Antonio	291949	6195375	156	50	67	3	n.d.	n.d.	18.9	n.d.	n.d.	n.d.
La Finca	290447	6196275	147	1	40	0	0	19.4	n.d.	7.4	944	197.
Los Lingues	323890	6174899	345	100	n.d.	0	0	17.2	17.3	6.7	451	132.

San Antonio



La Mollina



San Antonio 2



Los Lingues



Propiedades hidráulicas del acuífero en Pichidegua

A partir de las pruebas de bombeo (Figura 9) y recuperación (Figura 10), se determinaron las propiedades hidráulicas en el acuífero del que extrae agua el Comité de agua potable rural Los Aromos.

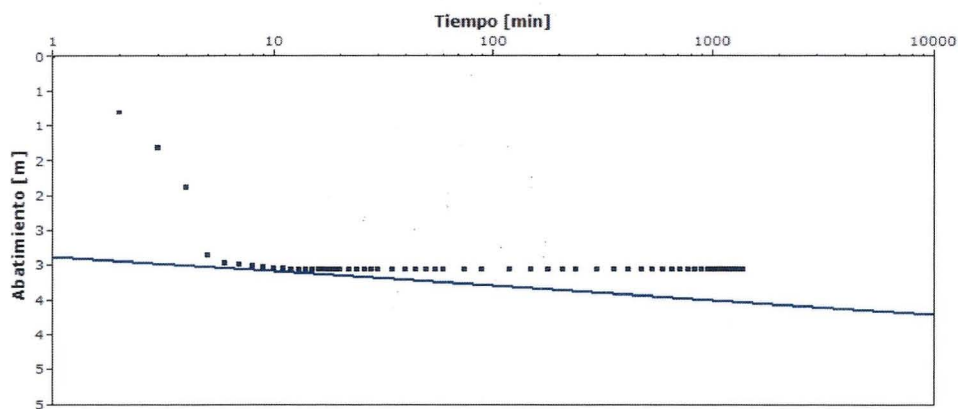


Figura 9. Análisis de la prueba de bombeo con el método Cooper & Jacob, en el Comité de agua potable rural Los Aromos en Pichidegua.

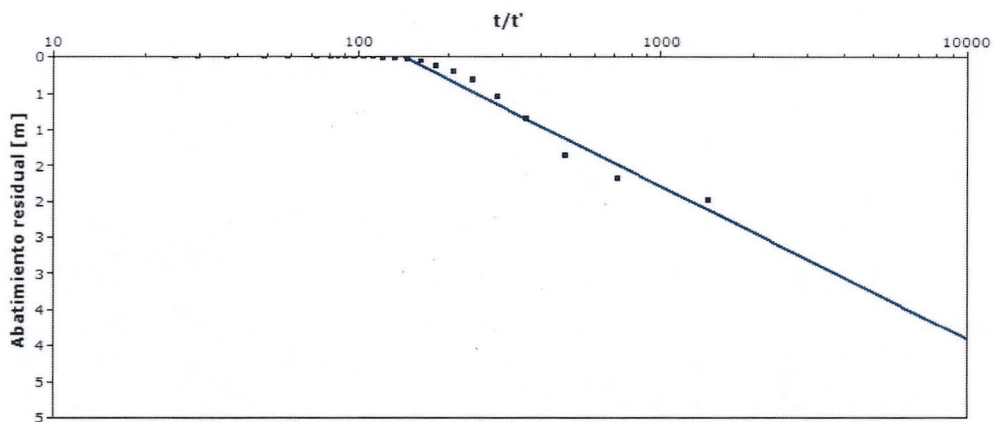


Figura 10. Análisis de la prueba de recuperación con el método *Theis recovery*, en el Comité agua potable rural Los Aromos en Pichidegua.

La conductividad hidráulica de 5,5 m/d (Tabla 2), se determinó por medio del método Cooper & Jacob y Theis Recovery. Además, el coeficiente de almacenamiento de $5,01 \cdot 10^{-2}$ (Tabla 2), se determinó por medio del método Cooper & Jacob. Las propiedades hidráulicas coinciden con arenas y gravas, las que se esperan en un acuífero en relleno sedimentario fluvial.

Tabla 2. Resumen de las propiedades hidráulicas Comité de agua potable rural Los Aromos en Pichidegua. Los datos de las pruebas de bombeo están en los Anexos 0 y 0.

Prueba de bombeo 25l/s	
Método	Cooper & Jacob
Transmisividad	190 m ² /d
Conductividad hidráulica	5,58 m/d
Coeficiente de almacenamiento	$5,01 \cdot 10^{-2}$
Prueba de recuperación	
Método	Theis recovery
Transmisividad	187 m ² /d
Conductividad hidráulica	5,5 m/d

Propiedades hidráulicas del acuífero en San Fernando

A partir de las pruebas de bombeo (Figura 11) y recuperación (Figura 12), se determinaron las propiedades hidráulicas en el acuífero del que extrae agua el Comité de agua potable rural Miraflores Polonia Quilapan.

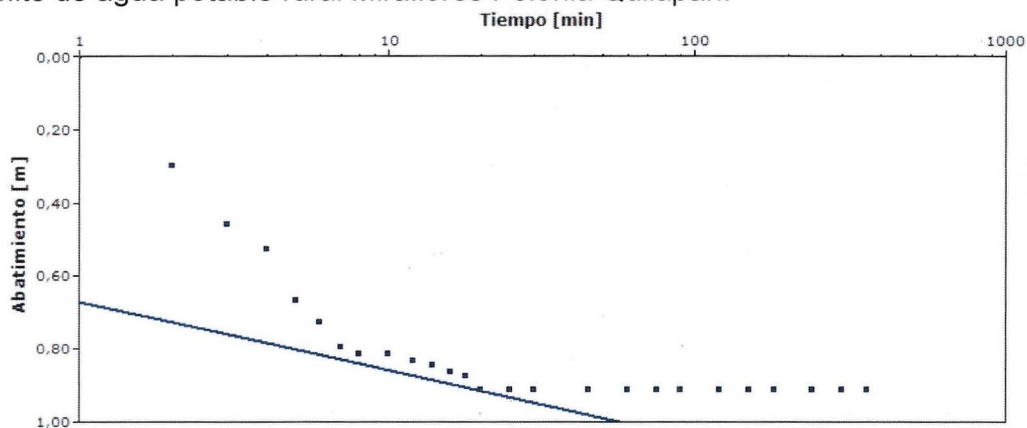


Figura 11. Análisis de la prueba de bombeo con el método Cooper & Jacob, en el Comité agua potable rural Miraflores Polonia Quilapan.

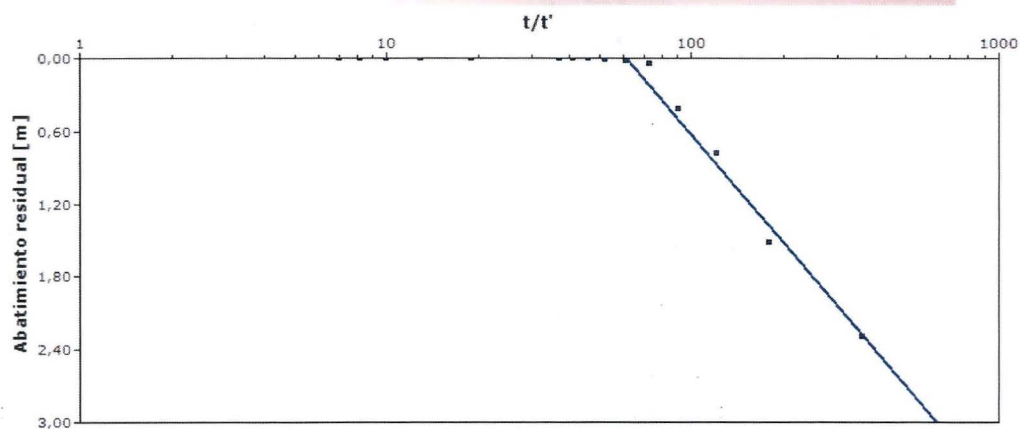


Figura 12. Análisis de la prueba de recuperación con el método Theis recovery, en el Comité agua potable rural Miraflores Polonia Quilapan.

La conductividad hidráulica de 1,2-5,8 m/d (Tabla 3), se determinaron por medio del método Cooper & Jacob y Theis Recovery. Además, el coeficiente de almacenamiento de $5,75 \cdot 10^{-2}$ (Tabla 3), se determinó por medio del método Cooper & Jacob. Las propiedades hidráulicas coinciden con arenas y gravas, las que se esperan en un acuífero en relleno sedimentario aluvial - fluvial.

Tabla 3. Resumen de las propiedades hidráulicas Comité de agua potable rural Miraflores Polonia Quilapan en San Fernando. Los datos de las pruebas de bombeo están en los Anexos 0 y 0.

Prueba de bombeo 15l/s	
Método	Cooper & Jacob
Transmisividad	125 m ² /d
Conductividad hidráulica	1,92 m/d
Coeficiente de almacenamiento	$5,75 \cdot 10^{-2}$
Prueba de recuperación	
Método	Theis recovery
Transmisividad	80,1 m ² /d
Conductividad hidráulica	1,23 m/d

Sugerencias de aplicaciones

Rendimiento

El principal beneficio de esta tecnología es su bajo costo de operación y mantención. Por otro lado, tiene un alto coeficiente de rendimiento, por lo que se espera obtener 3 a 6 Watt termale por cada Watt eléctrico (Self et al. 2013).

El rendimiento de las bombas de calor geotérmicas varía en función de distintos factores. El COP (Coefficient Of Performance) es el indicador que relaciona la energía térmica entregada por la bomba de calor en función de la energía eléctrica suministrada al compresor. Este coeficiente se puede obtener en función de las temperaturas mayor (T_{hot}) y menor (T_{cold}) que operan en la bomba de calor según el ciclo de Carnot y un factor de eficiencia α .

$$COP = \alpha \frac{T_{hot} + 273}{T_{hot} - T_{cold}}$$

Ecuación 1

El factor de eficiencia es 1 al considerar un rendimiento ideal pero en la práctica es menor por distintos motivos: los intercambiadores de calor tienen un rendimiento asociado, el compresor no trabaja iso-entrópicamente (eficiencia inferior a 1) y, por último, el circuito tiene pérdidas de calor y de presión asociadas. Es por esto que el valor de α varía entre un 30% y 70% (Morrone et al. 2014). Trabajos experimentales y teóricos sugieren que el valor de α es cercano a 0,5 (De Swardt & Meyer 2001), lo que es consistente con un COP de 3-6 y de 3-4 propuestos por (Self et al. 2013a) y Mustafa Omer (2008), respectivamente.

Se asume una diferencia mínima en el intercambio de calor entre el subsuelo y la bomba de calor de 2°C, es decir:

$$T_{cold} = T_{s1} - 2^{\circ}\text{C}$$

Ecuación 2

Para determinar el COP de una configuración de colector vertical abierto, se considera una temperatura mínima de inyección al subsuelo (T_{s1}) en función de la temperatura mínima del subsuelo ($T_{g\ min}$).

$$T_{s1} = T_{g\ min} - 8,33^{\circ}\text{C (RETScreen)}$$

Ecuación 3

La Figura 13 muestra el COP que sería posible alcanzar en función de la temperatura esperada en el foco caliente de la Bomba de Calor (*Temperatura salida fluido*), considerando temperaturas del foco frío (T suelo / T agua) de 11 °C, 17 °C y 19 °C y un alfa de 0.5. Las líneas completas corresponden al rendimiento para un sistema cerrado (ecuaciones 1 y 2). Las líneas punteadas indican el rendimiento esperado con un sistema abierto (ecuaciones 1, 2 y 3).

Asumiendo una demanda de temperatura de 40 °C (climatización con loza radiante) y considerando las temperaturas de agua subterránea medidas en los pozos (17 a 19 °C en promedio; Tabla 1), el rendimiento teórico (COP) bordea los 4.8 y 6.5 para un colector cerrado y abierto respectivamente. Este resultado es consistente con lo esperado para suelos con buenas propiedades hidráulicas como es el caso en ambas zonas.

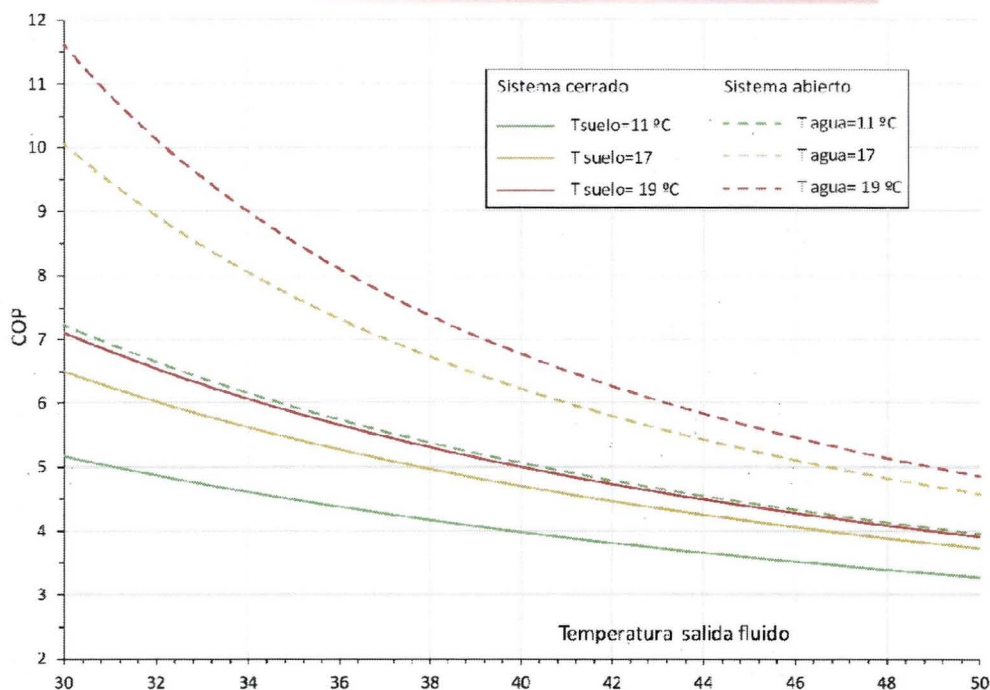


Figura 13. Coeficiente de rendimiento (COP) en función de la temperatura que se desea obtener en el foco caliente.

Demanda térmica

Demanda térmica <10-15 KW térmicos

Para demandas térmicas menores a 10-15 KW térmicos, la opción más económica es la del colector geotérmico horizontal cerrado. De manera aproximada, 10-15 KW térmicos, son suficientes para climatizar aproximadamente 200 m² con una temperatura de 20°C. Considerando que estos sistemas de climatización son pequeños, es posible energizar la bomba de calor geotérmica con paneles solares fotovoltaicos.

Demanda térmica >15 KW térmicos

Para demandas térmicas mayores a 15 KW térmicos, la opción más recomendable es la de colectores geotérmicos verticales:

Colector geotérmico vertical abierto: Es altamente recomendable ocupar este sistema, cuando el agua subterránea es somera, lo que ocurre en ambas zonas. Al utilizar esta configuración, además de las pruebas de bombeo, se recomienda hacer pruebas de reinyección de agua al acuífero.

Es importante conocer la dirección del flujo de agua subterránea, para planificar la ubicación de los pozos de extracción y reinyección. Para mantener la eficiencia del sistema, se deben ubicar los pozos de extracción aguas arriba y los pozos de reinyección aguas abajo. De esta manera la zona de afectación térmica creada alrededor de los pozos de reinyección se disipará aguas abajo y no afectará al pozo de extracción.

En ambas zonas el relleno sedimentario presenta una alta conductividad hidráulica (1.2–5.6 m/día), lo que tiene un efecto favorable en la velocidad del flujo subterráneo y, por consiguiente, en la renovación térmica del subsuelo. En este contexto, **un colector abierto sería altamente recomendable.**

Colector geotérmico vertical cerrado: Es altamente favorable cuando no se puede ocupar el agua subterránea, porque está muy profunda >150m, o cuando no es posible lograr los derechos de agua no consumptivos, por una sobreexplotación del agua subterránea en los alrededores. Generalmente, tienen profundidades desde 50 hasta 200 m de profundidad, y se instalan separados por, al menos, 5 metros para evitar la interferencia térmica entre los colectores.

Referencias

- Lund, J. & Boyd, T., 2015. Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review. In *Proceedings World Geothermal Congress*.
- Morrone, B., Coppola, G. & Raucci, V., 2014. Energy and economic savings using geothermal heat pumps in different climates. *Energy Conversion and Management*, 88, pp.189–198. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890414007316>.
- Mustafa Omer, A., 2008. Ground-source heat pumps systems and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(2), pp.344–371. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032106001249>.
- Self, S.J., Reddy, B. V & Rosen, M.A., 2013a. Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other heating options. *Applied Energy*, 101(0), pp.341–348. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261912000542>.
- Sellés, D. & Gana, P., 2001. Geología del área Talagante-San Francisco de Mostazal. Servicio Nacional de Geología y Minería. *Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica*, 74, p.30.
- SERNAGEOMIN, 2003. Mapa Geológico de Chile: versión digital. *Mapa Geológico de Chile: versión digital*, p.25.
- De Swardt, C.A. & Meyer, J.P., 2001. A performance comparison between an air-source and a ground-source reversible heat pump. *International Journal of Energy Research*, 25(10), pp.899–910.
- Wall, R., 1996. *Mapa geológico del área del San Antonio-Melipilla* Servicio Nacional de Geología y minería, ed., Chile: Servicio.

Anexos

Perfil de temperatura y conductividad eléctrica, pozo Los Lingues:

Profundidad m	Temperatur °C	C. μS/cm	Profundidad m	Temperatur °C	C. μS/cm
0,5	17,5	326,0	34,5	17,3	332,0
1,5	17,5	324,0	35,5	17,3	334,0
2,5	17,4	325,0	36,5	17,3	334,0
3,5	17,4	326,0	37,5	17,3	335,0
4,5	17,4	326,0	38,5	17,3	335,0
5,5	17,4	326,0	39,5	17,3	335,0
6,5	17,4	326,0	40,5	17,3	336,0
7,5	17,5	345,0	41,5	17,3	336,0
8,5	17,4	326,0	42,5	17,3	337,0
9,5	17,4	326,0	43,5	17,3	337,0
10,5	17,4	324,0	44,5	17,3	338,0
11,5	17,3	326,0	45,5	17,3	340,0
12,5	17,4	326,0	46,5	17,3	340,0
13,5	17,4	326,0	47,5	17,3	341,0
14,5	17,4	326,0	48,5	17,3	343,0
15,5	17,4	326,0	49,5	17,3	343,0
16,5	17,4	326,0	50,5	17,3	344,0
17,5	17,3	326,0	51,5	17,3	343,0
18,5	17,3	327,0	52,5	17,3	344,0
19,5	17,3	327,0	53,5	17,3	344,0
20,5	17,3	327,0	54,5	17,3	344,0
21,5	17,3	327,0	55,5	17,3	345,0
22,5	17,2	328,0	56,5	17,3	346,0
23,5	17,2	328,0	57,5	17,3	346,0
24,5	17,2	328,0	58,5	17,3	348,0
25,5	17,2	329,0	59,5	17,3	348,0
26,5	17,2	329,0	60,5	17,3	349,0
27,5	17,2	329,0	61,5	17,3	350,0
28,5	17,2	330,0	62,5	17,3	351,0
29,5	17,2	330,0	63,5	17,3	352,0
30,5	17,2	330,0	64,5	17,3	351,0
31,5	17,2	332,0	65,5	17,3	351,0
32,5	17,2	332,0	66,5	17,3	351,0
33,5	17,3	332,0			

Perfil de temperatura y conductividad eléctrica, pozo La Mollina

Profundidad m	Temperatur °C	C. μS/cm	Profundidad m	Temperatur °C	C. μS/cm
5,4	18,3	672,0	19,5	17,6	660,0
6,5	18,1	667,0	20,5	17,5	662,0
7,5	18,0	669,0	21,5	17,5	651,0
8,5	17,9	670,0	22,5	17,5	650,0
9,5	17,9	670,0	23,5	17,5	647,0
10,5	17,8	673,0	24,5	17,5	643,0
11,5	17,8	672,0	25,5	17,5	642,0
12,5	17,8	672,0	26,5	17,4	643,0
13,5	17,8	672,0	27,5	17,4	642,0
14,5	17,7	673,0	28,5	17,4	641,0
15,5	17,7	671,0	29,5	17,4	641,0
16,5	17,7	669,0	30,5	17,4	642,0
17,5	17,6	668,0	31,5	17,4	642,0
18,5	17,6	662,0	32,5	17,4	642,0

Perfil de temperatura y conductividad eléctrica, pozo San Antonio 2

Profundidad m	Temperatur °C	C.E. μS/cm	Profundidad m	Temperatur °C	C. μS/cm
2,5	21,1	669,0	28,5	18,8	757,0
3,5	20,5	736,0	29,5	18,8	751,0
4,5	19,7	760,0	30,5	18,8	754,0
5,5	19,1	758,0	31,5	18,8	751,0
6,5	19,0	757,0	32,5	18,8	758,0
7,5	19,0	759,0	33,5	18,8	756,0
8,5	18,9	760,0	34,5	18,8	752,0
9,5	18,9	762,0	35,5	18,8	758,0
10,5	18,9	759,0	36,5	18,8	759,0
11,5	18,9	758,0	37,5	18,8	764,0
12,5	18,9	761,0	38,5	18,8	765,0
13,5	18,9	764,0	39,5	18,8	770,0
14,5	18,9	757,0	40,5	18,8	769,0
15,5	18,9	756,0	41,5	18,8	770,0
16,5	18,9	757,0	42,5	18,8	761,0
17,5	18,8	755,0	43,5	18,8	761,0
18,5	18,8	752,0	44,5	18,8	762,0
19,5	18,8	745,0	45,5	18,8	764,0
20,5	18,8	741,0	46,5	18,8	765,0
21,5	18,8	738,0	47,5	18,8	768,0
22,5	18,8	741,0	48,5	18,6	762,0
23,5	18,8	741,0	49,5	18,7	761,0
24,5	18,8	740,0	50,5	18,6	763,0
25,5	18,8	740,0	51,5	18,6	763,0
26,5	18,8	738,0	52,5	18,6	763,0
27,5	18,8	741,0	53,5	18,6	763,0

Prueba de bombeo Comité de agua potable rural Los Aromos (Pichidegua)

Tiempo min	N. dinámico m	Abatimiento m	Tiempo min	N. dinámico m	Abatimiento m
1	2	0	55	5,23	3,23
2	2,83	0,83	60	5,23	3,23
3	3,35	1,35	75	5,23	3,23
4	3,94	1,94	90	5,23	3,23
5	4,99	2,99	120	5,23	3,23
6	5,11	3,11	150	5,23	3,23
7	5,14	3,14	180	5,23	3,23
8	5,15	3,15	210	5,23	3,23
9	5,18	3,18	240	5,23	3,23
10	5,2	3,2	300	5,23	3,23
11	5,2	3,2	360	5,23	3,23
12	5,21	3,21	420	5,23	3,23
13	5,22	3,22	480	5,23	3,23
14	5,22	3,22	540	5,23	3,23
15	5,23	3,23	600	5,23	3,23
16	5,23	3,23	660	5,23	3,23
17	5,23	3,23	720	5,23	3,23
18	5,23	3,23	780	5,23	3,23
19	5,23	3,23	840	5,23	3,23
20	5,23	3,23	900	5,23	3,23
22	5,23	3,23	960	5,23	3,23
24	5,23	3,23	1020	5,23	3,23
26	5,23	3,23	1080	5,23	3,23
28	5,23	3,23	1140	5,23	3,23
30	5,23	3,23	1200	5,23	3,23
35	5,23	3,23	1260	5,23	3,23
40	5,23	3,23	1320	5,23	3,23
45	5,23	3,23	1380	5,23	3,23
50	5,23	3,23	1440	4,31	2,31

Prueba de recuperación Comité de agua potable rural Los Aromos (Pichidegua)

Tiempo min	N. dinámico m	Abatimiento m
1441	4,05	2,05
1442	3,73	1,73
1443	3,38	1,38
1444	2,86	0,86
1445	2,54	0,54
1446	2,32	0,32
1447	2,2	0,2
1448	2,12	0,12
1449	2,06	0,06
1450	2,04	0,04
1451	2,02	0,02
1452	2,02	0,02
1453	2	0
1454	2	0
1455	2	0
1456	2	0
1457	2	0
1458	2	0
1460	2	0
1465	2	0
1470	2	0
1480	2	0
1490	2	0
1500	2	0

Prueba de bombeo Comité de agua potable rural Comité agua potable rural Miraflores
Polonia Quilapan (San Fernando)

Tiempo min	N. dinámico m	Abatimiento m
0	3,26	0
1	4,92	1,66
3	5,38	2,12
4	5,45	2,19
5	5,59	2,33
6	5,65	2,39
7	5,72	2,46
8	5,74	2,48
10	5,74	2,48
12	5,76	2,5
14	5,77	2,51
16	5,79	2,53
18	5,8	2,54
20	5,84	2,58
25	5,84	2,58
30	5,84	2,58
45	5,84	2,58
60	5,84	2,58
75	5,84	2,58
90	5,84	2,58
120	5,84	2,58
150	5,84	2,58
180	5,84	2,58
240	5,84	2,58
300	5,84	2,58
360	5,84	2,58

*Prueba de recuperación Comité de agua potable rural Comité agua potable rural
Miraflores Polonia Quilapan (San Fernando)*

Tiempo min	N. dinámico m	Abatimiento m
361	5,6	2,34
362	4,8	1,54
363	4,05	0,79
364	3,68	0,42
365	3,3	0,04
366	3,28	0,02
367	3,27	0,01
368	3,26	0
369	3,26	0
370	3,26	0
380	3,26	0
390	3,26	0
400	3,26	0
410	3,26	0
420	3,26	0



Anexo 4 – The Potential Usefulness of Geothermal Heat for Frost Protection

*William E. Glassley
Department of Earth & Planetary Sciences
University of California
Davis, California 94550*

June 15, 2016

Introduction

In the valleys west of the main Andes Mountain front, agricultural activities are an important component of the economic structure of the region. A variety of crops (fruits and vegetables) are grown throughout the area. Although the region is well suited to agriculture, an occasional but significant threat to successful production are Spring frosts. Preventing frost damage currently relies on conventional techniques, but these commonly require access to a fuel cycle (e.g., oil, butane, propane or a significant electrical supply).

Geothermal resources in the region have the potential to provide direct thermal energy on demand, with greatly reduced costs because of the absence of a fuel cycle and low electrical need. This paper explores the potential for using this renewable resource.

Background

Frost events in the region of interest (O'Higgins region) are not common, but can result in serious crop damage and economic losses when they do occur. The events do not last for long periods of times (i.e., days), but can be severe. Mitigating frost events requires addition of thermal energy to prevent freezing of buds, fruits and plants. Commonly this has been accomplished using combustion or air-flow methods.

However, heat flow from the interior of the Earth provides an inexhaustible energy resource. As that heat moves from deep levels (> 1 km), it interacts with local hydrological systems, heating meteoric waters that are flowing in local aquifers. Because the magnitude of the geothermal resource at deep levels varies due to geological processes, and since flow of subsurface waters depends on the local geological structures and rock types, it is often



difficult to determine how much thermal energy is available at any specific site, and how variable the thermal resource is at depth. Although a common “rule of thumb” is that temperatures increase at the rate of approximately 30°C per kilometer of depth, the actual temperature values at depth can be quite different from what this gradient would predict. Hence, although persistent, reliable and renewable, the actual magnitude of the available thermal resource can vary substantially from place to place.

We have undertaken an analysis of the thermal resource in the region of O’Higgins to evaluate whether the accessible subsurface waters could provide adequate thermal energy to mitigate frost events.

Approach

Data were provided for water temperatures in wells throughout the study area. The depths of the wells and the UTM coordinates of the wells were also noted. These data were analyzed in terms of relationship to geography as well as to geological structures.

Results

Geological Controls on Well Water Thermal Properties

Figure 1 shows the temperatures of water from wells in the region. Also plotted in the figure are the depths of the wells.

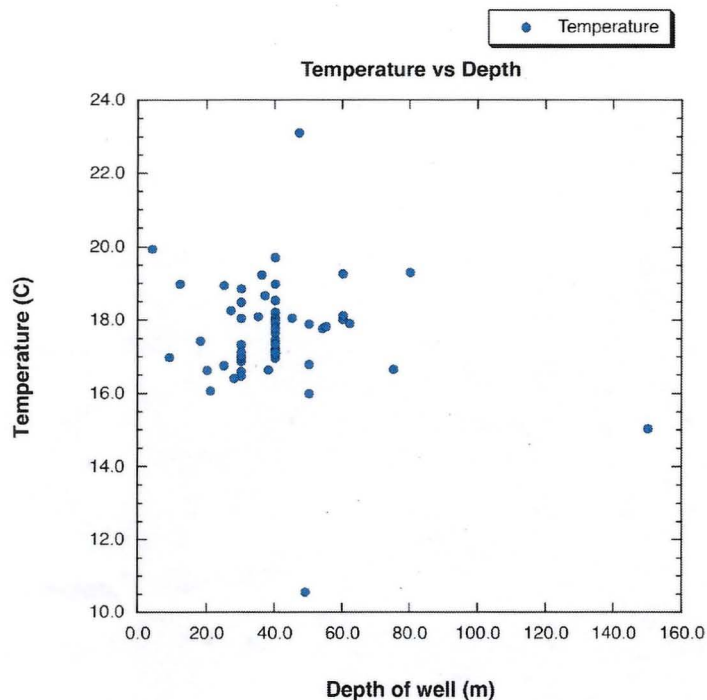


Figure 1. Water temperature and well depth for wells in the O'Higgins region.

With one exception, all of the wells are shallower than 100 meters, with a mean depth of 40 meters. The temperature ranges between 10°C and 23°C, with a mean of 17.6°C. The vast majority of the water temperatures fall between 16°C and 20°C.

In a north-south direction through the region, there is no systematic difference in the temperature distribution (Figure 2). However, in an east-west direction, a strong trend of increasing temperature toward the west is observed (Figure 3). Because such a large area is encompassed by the wells considered in this study, such a pattern is most likely attributable to the regional geology.

To evaluate this possibility, the well sites were superimposed on the geological map for the region (Figure 4).

As is evident from the geological map, the main geological units generally strike in a north-south to north-northeast – south-southwest direction, paralleling the main mountainous front. Such trends are consistent with the hypothesis that trends observed in Figures 2 and 3 are structural controlled by the geological units. Also consistent with this hypothesis is the general dip of geological units to the east (see Figure 5). The observed increase in water temperature to the west suggests that upflow of deeper, warmer waters occurs within geological units that outcrop in the west, and which extend to deeper levels in the east as they dip below overlying, younger geological units.

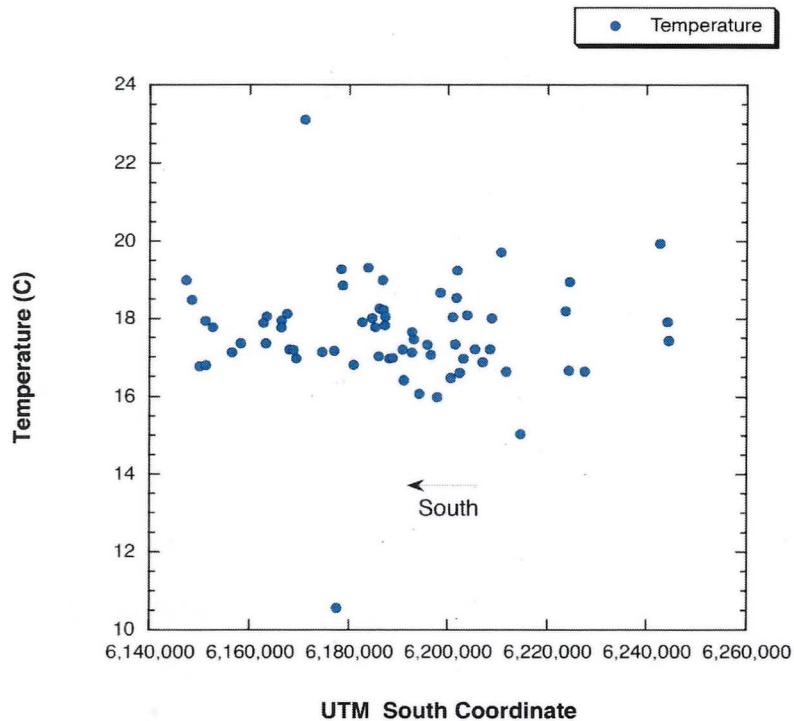


Figure 2. Water temperature plotted as a function of north-south location.

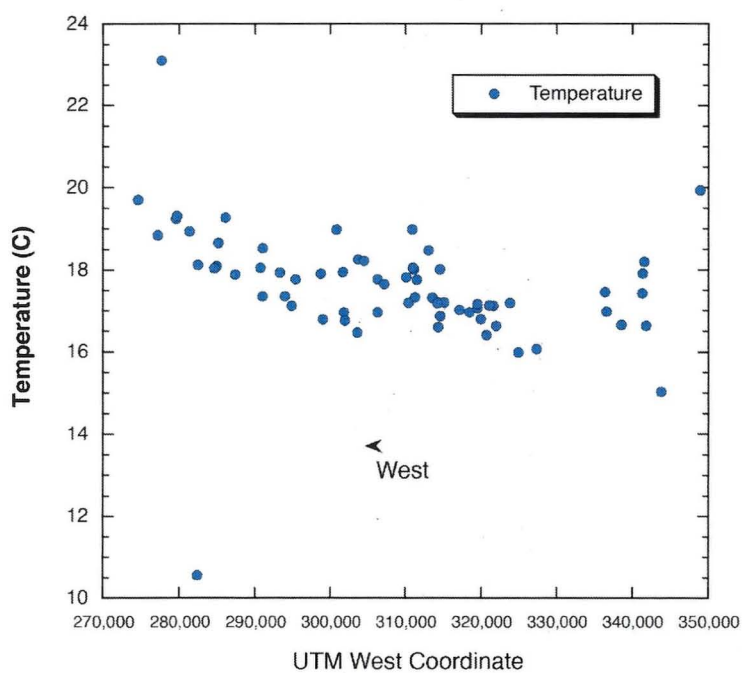


Figure 3. Water temperature plotted as a function of east-west location.

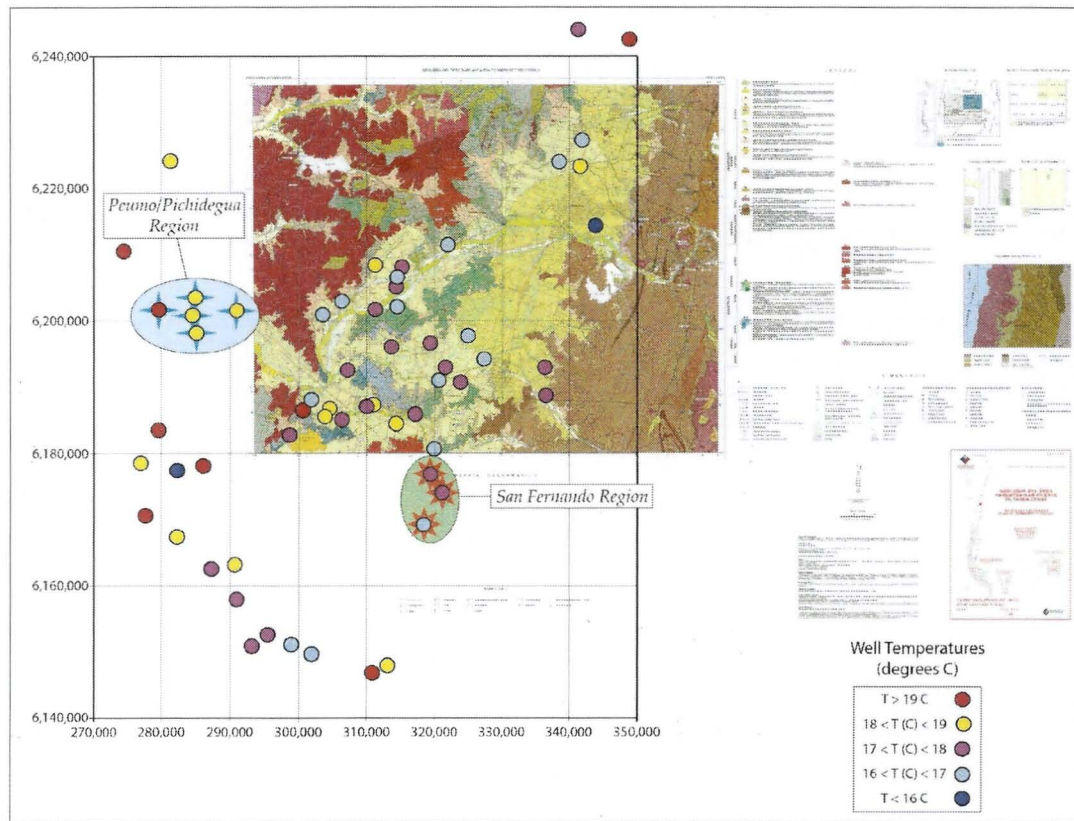


Figure 4. The locations of water wells, colored according to the water temperature, are superimposed on the geological map of Rancagua-San Vicente de Tagua Tagua area (Godoy et al, 2009). The agriculture areas of interest (San Fernando region and the Peumo/Pichidegua region), and their respective wells are indicated by the starred well sites enclosed in colored ellipses.

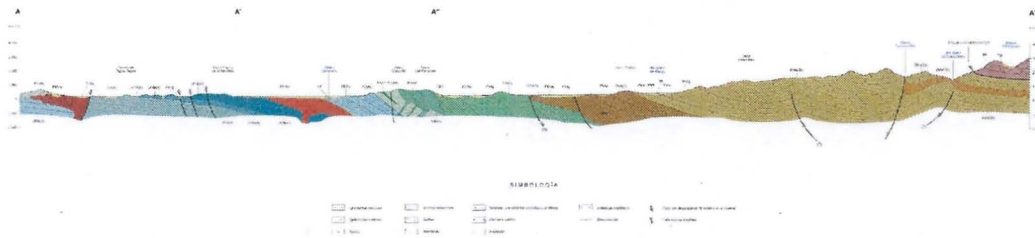


Figure 5. West to east cross-section through the southern portion of Figure 4 (Godoy et al., 2009).

Magnitude of the Thermal Resource

The amount of thermal energy available for frost mitigation is a function of the rate at which water is extracted from a well and the amount of heat removed from the water. If flow rates are considered in units of mass of water pumped from the well per second (M in kg/s) and the amount of heat removed is measured as the change in temperature (ΔT), the amount of heat (H , as J/s or watts) available for use can be computed as

$$H = M \times \Delta T \times C_{H_2O}$$

where C_{H_2O} is the heat capacity of water (in J/kg-°C). The amount of heat available from the well waters, as a function of the flow rate and ΔT (2°C, 4°C and 6°C) is shown in Figure 6.

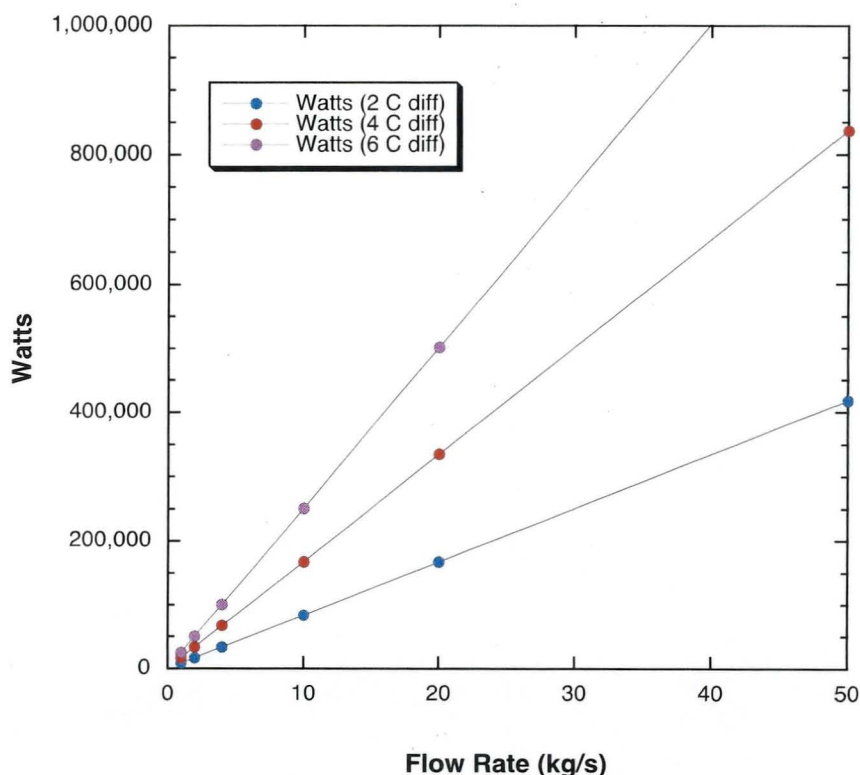


Figure 6. Available thermal energy as a function of flow rate and ΔT .

Discussion

As previously noted (personal communication, D. Wulfsohn, Feb., 2016), energy requirements to mitigate the effects of the various frost types for the melon and cherry crops considered as model crops for this study, energy needs are approximately 330 to 380 W/m², respectively. From Figure 6, it is evident that even at very low flow rates (~5 kg/s), sufficient heat could be obtained from the low temperature waters of the wells in the region to mitigate frost effects for



hundreds of m² of area. At higher flow rates, extensive regions could be readily protected from frost damage utilizing the heat from these waters.

To make use of the geothermal resource in the most efficient way, several factors need to be addressed. These are detailed in the following sections.

Well draw-down

The wells in the region are shallow, as previously noted. If they have been utilized for agricultural purposes previously and experience has shown that the recharge is sufficient to prevent significant draw-down during pumping, it is likely the wells would be suitable for the typical short duration frost events recorded in the region. However, if draw-down is significant, or pumping duration in the past has been short lived or pump rates low, draw-down tests must be conducted to establish the resilience of the wells to the flow rates required to meet the thermal load during frost mitigation.

Re-injection

Extraction of water from wells for circulation through a piped heat distribution network should also include a means to re-inject the extracted water, or to use the water in some constructive fashion. If re-injection is used, care must be taken to not diminish the heat content of the extraction well. Since the circulated water will be cooled by removal of a portion of its heat content, the circulated fluid should not be re-injected into the well from which the water was sourced. Consideration of the local hydrological flow regime should be undertaken to identify good candidates for injection wells.

Crop arrangement

The geometry of the layout of crops is commonly in spaced rows. For heat management, it is likely other arrangements for crop layouts could be more advantageous. For example, clustering melon patches may allow more efficient heat management and distribution. But the local topography and wind patterns may also influence heat movement, which should also be considered when designing the layout for heat management.

Tenting

The amount of heat that could be available for frost mitigation could be greatly increased if low-cost covers for plantings and orchards/trees could be utilized. In this case, a relatively small amount of heat would be needed to maintain adequate temperatures to prevent freezing.

Heat Transfer Methods

Transferring heat to the crop of interest requires innovative approaches. For crops that are low to the ground, such as melons, it may be sufficient to have shallowly buried or surface-deployed plastic pipe that would maintain a soil temperature sufficient to radiate heat to the plant. For taller plants, such as cherry trees, thermal fingers with radiative fins may be needed. Another option for taller plants is thin plastic piping distributed along branches in simple networks, sufficient to provide modest heat during the frost event. The amount and distribution of piping, for either crop, will depend upon the layout of the crop and whether tenting of any kind is deployed.

Increasing The Thermal Resource





It is obvious from the geological properties of the region that a much higher temperature resource is likely to be available at deeper levels than wells currently extend. The ability to utilize the geothermal resource could be dramatically improved by developing one or a few wells that are deep, larger diameter boreholes that could support sustained pumping of much warmer waters ($>35^{\circ}\text{C}$). A few such wells could be used for frost mitigation for multiple farms, while also providing reliable thermal energy for community district heating systems.

The key to improving the geothermal resource would be to utilize modern computer modeling tools to identify target sites for drilling. These simulation tools would show the location of the most promising geothermal resource (highest temperature at the shallowest depth with the highest flow rate), while simultaneously providing detailed information regarding the flow rates, flow volumes, flow directions and likely recharge regions for the local hydrological system (see anexo 4).

Conclusion

Water temperatures from existing wells in the region considered in this study show a systematic distribution of temperatures that indicate local geological structural control on the hydrological regime. The observed patterns indicate that warmer waters in the western part of the region are likely to be influenced by flow from deeper regions in the eastern part of the area.

The temperatures of the waters, though modest, are adequate to support the use of geothermal heat to mitigate the potential damage from occasional frost events. Optimizing use of this resource could be accomplished through simple and straightforward methods for managing the available heat for the specific crops of interest. If properly done, geothermal heat could provide a significant means for preventing extensive frost damage.

The magnitude of the geothermal resource in the region could be greatly increased by improving access to subsurface warm waters. Utilizing available modeling tools, it would be possible to identify the best target regions for accessing higher quality geothermal resources. Such access could provide both frost mitigation, as well as support development of district heating systems.





Anexo 5 – The Potential Usefulness of Geothermal Heat for Frost Protection: Preliminary Reconnaissance Geothermal Resource Modeling

*William E. Glassley
Department of Earth & Planetary Sciences
University of California
Davis, California 95616*

July 3, 2016

Introduction

In the valleys west of the main Andes Mountain front, agricultural activities are an important component of the economic structure of the region. A variety of crops (fruits and vegetables) are grown throughout the area. Although the region is well suited to agriculture, an occasional but significant threat to successful production are Spring frosts. Preventing frost damage currently relies on conventional techniques, but these commonly require access to a fuel cycle (e.g., oil, butane, propane or a significant electrical supply).

Geothermal resources in the region have the potential to provide direct thermal energy on demand, with greatly reduced costs because of the absence of a fuel cycle and low electrical need. An initial description of the opportunities for geothermal heat use in the region was provided in a companion paper that explored the potential for using this renewable resource. The current paper presents the results of preliminary modeling of the potential geothermal resource. These initial calculations are based on estimated properties derived from analysis of the geological structure of the region. Because the results of this modeling effort are strongly dependent upon the properties that are used to represent the rock materials, and in this instance those properties are based on estimates from the literature, it is emphasized that these results are preliminary and should be considered approximate.

Background

The modeling software used in this study is a python-based software program designed to help quantify and understand risk associated with geothermal resource assessment, development and management. Geothermal resource development projects rely on; 1)





assessments of the location and magnitude of a geothermal reservoir in order to access the resource, and 2) design of the facility for resource extraction and use so that the facility matches the reservoir capacity. Accomplishing these goals, at minimal risk, necessitates the development of accurate subsurface models of the reservoir in order to target the best drilling sites for extraction and injection wells. Of equal importance is a high-resolution model of the fluid flow regime affected by the geothermal resource, since use of the resource will require careful management of extraction rates, injection rates and injection locations. The software provides this information by developing the most likely configuration of the geothermal reservoir and associated flow regime.

These goals are accomplished by taking into consideration the two primary factors that determine resource use – reservoir energy content (which is the combined values of temperature and reservoir volume) and the permeability of the rock units that compose the geological structure of the region. These two principle parameters allow determination of the magnitude of the sustainable rate at which energy can be extracted.

The approach taken with this modeling tool involves several steps. First, a geological model is constructed in which site-specific data are utilized to define the subsurface distribution of permeability and heat capacity. Then, using statistical approaches, tens to thousands of simulations are conducting that vary the size and location of possible geothermal reservoirs. For those cases where the permeability is not well constrained, permeability is treated as another unknown variable that is allowed to be statistically varied in the model runs. Since permeability was not well known for the O'Higgins geological units, this approach of varying the suite of subsurface permeabilities was employed. Each model is allowed to simulate the subsurface temperatures and fluid flow patterns that would be seen after hundreds or thousands of years of heating, in order to characterize the likely steady-state properties of a system. Each model is then compared to observed temperatures in wells in the region, and the model that provides the best match to the real-world observations is selected as the "most likely". Simulations of the flow and thermal regimes are performed using the Los Alamos National Laboratory (LANL) subsurface flow and transport code FEHM.

For each model, the geothermal production potential is assessed by estimating the sustainable rate of fluid production (for a specified time horizon and permissible reservoir drawdown) at any location and any depth in the model. An analysis is then applied to provide risk and "robustness" for geothermal drilling targets. This "robustness" is based on user-specified requirements for production temperature and rate.

Results for the "most likely" model are visualized in the open-source Paraview software.

Approach

The permeabilities of the rock types in the region (Fig. 1) and represented in the cross section (Fig. 2) were estimated on the basis of common properties for similar rock types. These values were approximated using information in Glassley (2014).

The geologic map of the region indicates more than fifteen different rock units in the representational cross-section. Since permeability measurements were not available for these



rock units, it was decided, for the initial model study, to combine the rock units into generalized rock types. From the geological descriptions, three broad rock types were recognized (listed in order of assumed increasing permeability): igneous intrusive rocks and flows; volcanoclastic sediments; and alluvial sediments and breccias. Shown in Fig. 2 are the published geological cross section, and the derived cross section with the grouped rock types.

A simplified 3D geological framework was constructed using the outcrop pattern and cross-sectional characteristics.

Constraining wells were selected from the San Fernando and Peuma/Pichidegua regions, and the northeastern corner of the study area, in order to provide broad, regional representation of the thermal regime.

Well temperatures were used as recorded. However, because the wells were shallow, it was assumed that a mild geothermal gradient existed in each region for each well, and the temperatures were extended to several hundred feet, in order to allow sufficient model constraints.

A total of 243 separate realizations were run and from those, the simulation that provided the best statistical fit to the constraining well thermal regimes was identified.

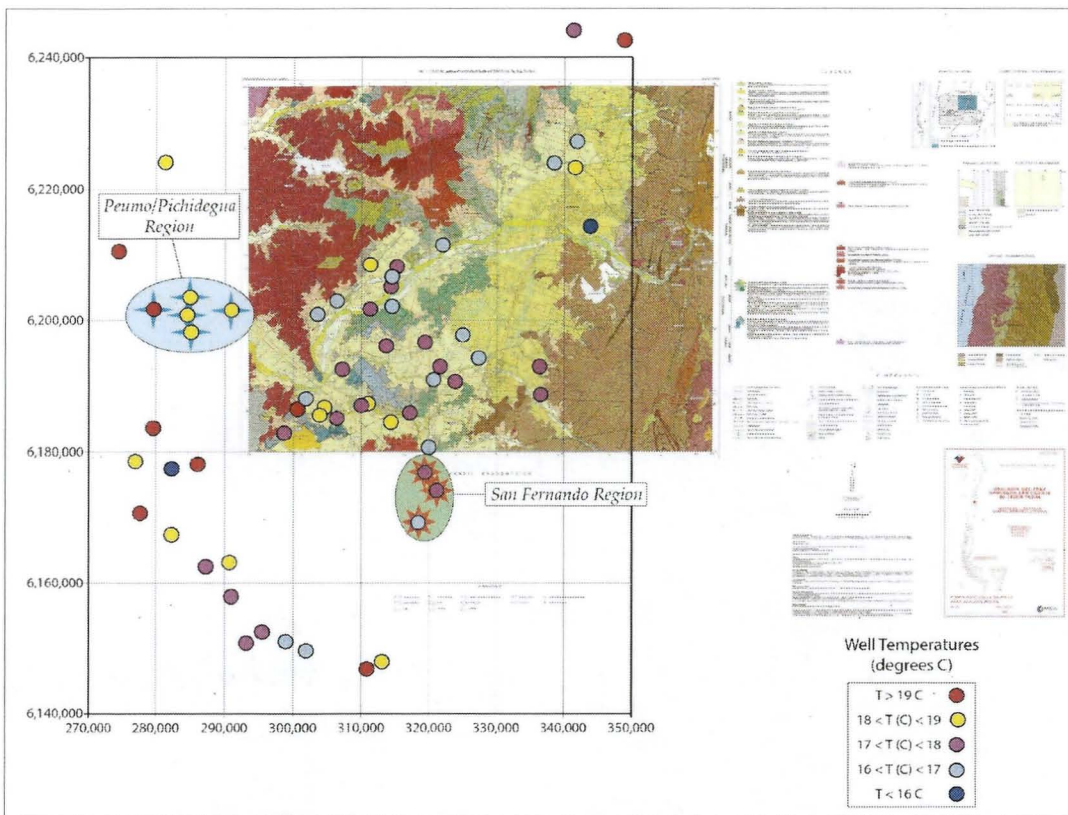


Figure 1. The locations of water wells, colored according to the water temperature, are superimposed on the geological map of Rancagua-San Vicente de Tagua Tagua area (Godoy et al, 2009). The agriculture areas of interest (San Fernando region and the Peumo/Pichidegua region), and their respective wells are indicated by the starred well sites enclosed in colored ellipses. The area considered in the simulation was bounded, in an east-west direction by UTM longitudes 350,000 to 270,000, and south to north latitudes 6,160,000 and 6,220,000.

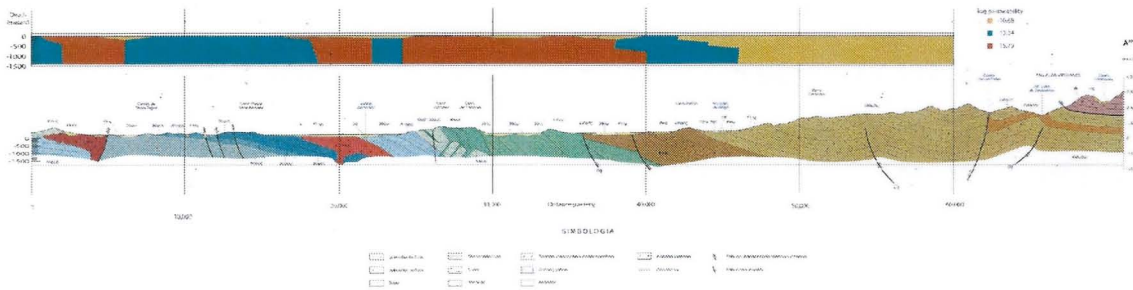


Figure 2. Upper: Model of the geology used in simulations. Lower: West to east cross-section through the southern portion of Figure 1 (Godoy et al., 2009).

Results

The results of the simulations and statistical analysis is shown in Figure 3.

Figure 3 shows an East-West cross section through the central part of the modeled region. The highest temperatures in the 3D block were nearly 50° C at a depth of 1.4 km. This high temperature regime occurs as a domed thermal high that extends westward for approximately 20 km from the approximate North-South midline of the modeled area.

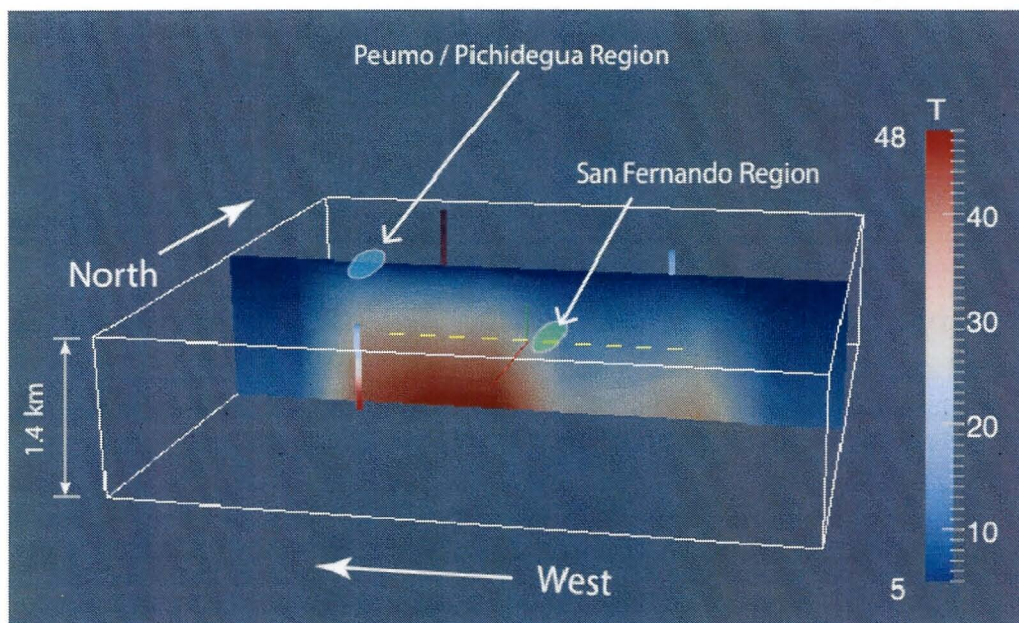


Figure 3. East-West cross-section through the modeled volume.

This high temperature dome forms a thermal ridge in which temperatures of approximately 35° C extend to depths as shallow as ~600 m. This dome runs through most of the region in a NNE-SSW direction. These preliminary results also suggest there may be a weaker thermal dome in the eastern third of the study region.

The Peumo/Pichidegua region lies directly above the main thermal dome. This suggests that there are likely to be useful thermal resources in the region that could be readily tapped with somewhat deeper wells. It is likely, as well, that fault structures (which were not included in these simulations) may provide important local fluid flow pathways to shallower levels for these hotter fluids.

The San Fernando region appears to overly the weaker thermal dome. Although this resource does not have the thermal capacity of the thermal dome farther west, its presence suggests that warmer waters than currently accessed by most wells in the region could be present.

Discussion

As noted above, this modeling effort relied on approximations of the permeability structure. The best fit model resulted in the permeabilities indicated in Fig. 2, i.e., -15.79 for the least permeable rocks, -13.38 for rocks of intermediate permeability, and -10.68 for the most permeable alluvial sediments (all values are log values, in units of m^2). These values are consistent with reported values for similar rocks (see Glassley, 2014, p. 67-74) that are not highly fractured. Also, the absence of deep wells in the area make modeling thermal regimes at depths of more than few hundred feet very uncertain. **Consequently, the reliability of the results of these modeling efforts must be viewed cautiously.**



Nevertheless, the overall distribution of thermal properties as discussed in the companion report, particularly the tendency for the higher temperature waters to occur in the western portion of the study area, is very consistent with the results of this modeling effort. These results support the concept of the existence of an accessible significant thermal reservoir in the western half of the region, with the possibility of a smaller resource to the east.

These results demonstrate that a more detailed modeling effort should be undertaken in which:

1. Representative rock samples are collected and their permeability properties accurately measured. The sampling should concentrate on very specific rock units that correspond to those mapped in the Godoy et al. (2009) report.
2. A modeling effort is undertaken in which all of the wells for which temperatures are available are included in the simulation. This would require detailed data transfer and file management to assure accurate representation of the wells as a function of depth, and should take into account any known measurements of geothermal gradients in the region.
3. A geological 3D framework is constructed that accounts for all known faults and is constructed at a much higher resolution than utilized in this reconnaissance study.
4. The simulation is run for at least a thousand realizations, in order to assure a statistically well constrained "best fit" model.

Conclusion

A 3D geological framework was constructed for the area of interest using the data of Godoy et al. (2009). Well water temperatures from a few wells in the region were used to extrapolate water temperatures to a few hundred feet, and used as constraints for the modeling effort. Estimates of rock permeabilities were developed and used to carryout 243 realizations of possible subsurface temperature. The best-fit thermal model suggests the presence of a major thermal dome in the western half of the region underlying the Peumo/Pichidegua agricultural area. There is also the possibility of a smaller thermal dome in the eastern portion in the vicinity of the San Fernando agricultural area. These preliminary results strongly suggest that further, more detailed and rigorously constrained modeling activities are likely to identify the detailed location and properties of important geothermal resources in the region.





8. Bibliografía Consultada

Antics M., Bertani R., & Sanner B. (2013). Summary of EGECE 2013 Country Update Reports on geothermal energy in Europe. *Proc. European Geothermal Congress*.

Baldini, E (1992). Arboricultura geneal . Madrid, Mundiprensa.379p

Bascope, A. J. (2013). Estudio: Efecto heladas de septiembre en frutales y hortalizas entre la Región de Coquimbo y la del Maule. ODEPA.

Bourouni K., Chaibi M.T., & Bassem M.M. (2010) Experimental investigation of cross-flow geothermal water cooling tower used for agriculture purposes in the South Tunisia. *Proc. World Geothermal Congress*.

Centro de energías renovables (2011). Boletín Cartas Geotérmicas, 14 pp.

Climo M., Hall J., Coyle F., Seward A., Bendall S., Carey B., & White B. (2015). Direct use: Opportunities and development initiatives in New Zealand. *Proc. World Geothermal Congress*.

Curihuinca, J. (2010). Las heladas desde Copiapó a Puerto Montt Sus efectos en los cultivos. Métodos de protección. Publicación Técnica, Dirección Meteorológica de Chile.

Dell R., Wei C.S., Sidebotham G., Guido V., Cataldo J., Unnþórsson R., Jonsson M.T., Þórðarson T., Smolar K., & Bronfman, A. (2011). Geothermal heat in agriculture: Preliminary results of an energy intensive system in Iceland. *GRC Transactions*, 31, 115-121.
<http://pubs.geothermal-library.org/lib/grc/1029224.pdf>

Dell R., Unnthorsson R., Wei C.S., & Foley W. (2013). Waste geothermal hot water for enhanced outdoor agricultural production. POWER2013-98172 (9 pp.).

Díaz Queralto, F. (1971). Práctica de la Defensa Contra las Heladas. Dilagro.

EGEC (2015). Solutions for energy, climate and food security: Geothermal use in agriculture. European Geothermal Energy Council, Brussels, Belgium (2015) egec.info/wp-content/uploads/2015/04/Brochure-Agriculture-2015-DIGITAL.pdf

Fox Hodgson, S. (2013). Focus on Chile. Geothermal Resources Council, Vol 42, 16, 2, 24–37.

Glassley, W.E. (2015). Geothermal Energy. Renewable Energy and the Environment. 2nd Ed. CRC Press.

Godoy, E., Schilling, M., Solari, M. and Fock, A., 2009. Geología del Área Rancagua – San Vicente de Tagua Tagua, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Servicio





Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Básica 118, 50 p. 1 mapa escala 1:100,000. Santiago. ISSN 0717-7283.

Gudmundsson J., Freeston D., & Lienau P. (1985). The Lindal diagram. *Geothermal Resources Council Transactions*.

Gunnlaugsson B., Agustsson M. A., & Adalsteinsson S. (2003). Sustainable use of geothermal energy in Icelandic horticulture. International Geothermal Conference (pp. 20–24). Reykjavik.

Hähnlein S., Bayer P., Ferguson G., & Blum P. (2013). Sustainability and policy for the thermal use of shallow geothermal energy. *Energy Policy*, 59, 914–925.

IEA. (2015). 2015 Key World Energy Statistics. OECD / International Energy Agency.

INE (2013). Encuesta de superficie hortícola. www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_agropecuarias/estadisticas_agricolas/agricolas.php

Levitt, J. (1980). Responses of Plants to Environmental Stresses, Vol. 1 (2nd ed). New York NY: Academic Press. 497p.

Lund J., & Boyd T. (2015). The growth of direct heat use over the past 5 years. *Proc. World Geothermal Congress*.

Martínez, L., Ibáñez, A., & Rojas, L. (2008). Control de heladas en la agricultura (I Parte). INIA Tierra Adentro, Marzo-Abril.

MegaWatSoft online psychrometric calculator www.psychrometric-calculator.com/HumidAirWeb.aspx

Mehrpooya M., Hemmatabady H., & Ahmadi M. H. (2015). Optimization of performance of combined solar collector-geothermal heat pump systems to supply thermal load needed for heating greenhouses. *Energy Conversion and Management*, 97, 382–392.

Mide Engineering Solutions. Air Pressure at Altitude Calculator. www.mide.com/pages/air-pressure-at-altitude-calculator

Morvaj, Z.K. & Gvozdenac, D.D (2008) Applied Industrial Energy and Environmental Management, Part III. Toolbox 6. John Wiley & Sons, Ltd., 456 pp. www.wiley.com/legacy/wileychi/morvajindustrial/supp/toolbox6.pdf

Muffler, P. & Cataldi, R. (1978). Methods for regional assessment of geothermal resources. *Geothermics*, 7, 53–89.

Murray, M. (2011). Critical temperatures for frost damage on fruit trees. Utah Pests Fact Sheet IPM-012-11. Utah State University, EEUU.





ODEPA (2013). Estimación de superficie cultivada con hortalizas por región, según especie año (2013) www.odepa.cl/superficie-cultivada-con-hortalizas-3 (consultado el noviembre 2015).

ODEPA (2014). Superficie de frutales por región (2014). www.odepa.cl/superficie-de-frutales-por-region-2/ (consultado el noviembre 2015)

OMM (Organización Mundial Meteorológica). World Meteorological Organization Homepage. www.wmo.int (consultado el diciembre 2015)

Osborn, P.D. (2013) *Handbook of Energy Data and Calculations*. Butterworth-Heinemann.

Popovski K., & Vasilevska S.P. (2003). Heating greenhouses with geothermal energy. *Proc. International Geothermal Workshop*, Sochi.

Razeto, B. (1999). Para Entender la Fruticultura. Facultad de Agronomía, Universidad de Chile, Tercera Ed. (373 pp.). Santiago, Chile.

SAG (2013). Catastro vitivinícola (2013). Servicio Agrícola y Ganadero de Chile (consultado el noviembre 2015).

Santibañez, F. y Merlet H. (1987). Los regímenes de heladas en la zona central de Chile. *Rev Aconex* (16):20-27

Sigfússon B y Uihlein A. (2015) Geothermal Energy Status Report: Technology, market and economic aspects of geothermal energy in Europe. Joint Research Centre, European Union, 60 pp.

Snyder, R.L., & de Melo-Abreu, J.P. (2005). Frost protection: fundamentals, practice and economics. Volume 1. FAO, Rome.

Snyder, R.L. (2000). Principles of frost protection. FP005 Answer. biomet.ucdavis.edu/frostprotection/Principles%20of%20Frost%20Protection/FP005.html

Tassara, M. (2005). Defensa contra heladas. *Revista Fruticultura & Diversificación* 45, 20-28.

Trillo, G. L., & Angullo, V. R. (2008). Guía de la Energía Geotérmica. Universidad Politécnica de Madrid, 178 pp.

Van Nguyen M., Arason S., Gissurarson M., & Pálsson P.G. (2015). Uses of geothermal energy in food and agriculture – Opportunities for developing countries. FAO.

Westwood, M. (1993). Temperature-zone pomology. Physiology and culture, 523 p. Timber Press. Portland, Oregon.





Whiteman, T.M. (1957). Freezing points of fruits, vegetables and florist stocks. Marketing Research Report No 196, USDA, Agricultural Research Service, Washington, DC. ucce.ucdavis.edu/files/datastore/234-1931.pdf (consultado el noviembre 2015).

Yuri, J. (1991). Las heladas en fruticultura. Revista frutícola 13 (2): 69-74



ASISTENCIA

Difusión "Estudio de la factibilidad técnico económica de usar energía geotérmica para el Control de heladas (Cod. EST-2015-0308)



Nº	Nombre	RUT	Dirección	Contacto	Firma
1	Arturo Valenzuela				
2	OSCAR NATURANA				
3	Camilo Usatua				
4	Esteban Silva				
5	Luis Pérez				
6	Juan Ignacio Silva				
7	Luis Gerardo G.				
8	Alfonso Oyarzo				
9	José Montero				
10	HERNÁN LARREA A.				
11	PEDRO CASTRO ✓				
12	Francisco José López				
13	Wanda Quintero				
14	ROSA GUERRA G.				
15					

Asistencia día de campo

Programa	GTT ARANDANO
Fecha	24/06/2016

Lugar Ejecución	Tingirica
Productor	Agr El Mandarino

Nº	Nombre del productor	RUT	Dirección	Contacto	Firma
1	Carlos Gonzalez				
2	Linea Flan B				
3	ARTURO RAMIREZ				
4	Harold Araya				
5	Francisco Córdova				
6	Fernando Dominguez				
7	Roberto Norcia Ortiz				
8	Christian Ojeda C.				
9	Oswaldo Sime				
10					
11					
12					
13					
14					
15					

Asistencia GTT ARANDANOS

Programa	
Fecha	

Lugar Ejecución	
Productor	

Nº	Nombre del productor	RUT	Dirección	Contacto	Firma
1	Carlos Jeldovia				
2	San Gilno Valverde				
3	San Luis Morales				
4	Juan Ignacio Silva				
5	José G. González				
6	San Agustin				
7	Jonathan Hernández				
8	Pedro Castro				
9	Herrera Urrutia A.				
10	Rodrigo Jarama Jr				
11	Fco. Encarnación G				
12	Orlando Prájer				
13	OSCAR MATEO				
14					
15					