

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**EXPLORANDO POTENCIALES USOS DE LA ENERGÍA
GEOTÉRMICA EN LA ZONA CENTRO SUR DE CHILE**

DIEGO FELIPE HERNÁNDEZ MORALES

HABILITACIÓN PROFESIONAL
PRESENTADA A FACULTAD DE
INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN,
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

CHILLÁN-CHILE

2023

**EXPLORANDO POTENCIALES USOS DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN
LA ZONA CENTRO SUR DE CHILE**

Aprobado por:

Monica Montory Gonzáles

Bioquímica, Dra.

Profesor Asistente

Profesor Guía

Javier Ferrer Valenzuela

Ingeniero Civil Químico, Dr.

Profesor Asistente

Profesor Co-Guía

Gustavo Pinto Cruz

Ingeniero Civil Eléctrico, Mr.

Evaluador Externo

Profesor Asesor

Nicole Uslar Valle

Ingeniero Civil Agrícola, Dra..

Profesor Asistente

Director de Departamento

Maria Eugenia Gonzáles Rodríguez

Ingeniero Agrónomo, Dra..

Profesor Asosiado

Decana

ÍNDICE DE MATERIAS

RESUMEN.....	Página 1
SUMMARY	3
1. INTRODUCCION.....	5
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo general	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3. METODOLOGÍA	17
4. RESULTADOS Y DISCUSION	18
5. CONCLUSIÓN.....	39
6. LITERATURA CITADA	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis comparativo de ventajas y desventajas de la energía geotérmica respecto de otras fuentes energéticas renovables.....	Página 7
Tabla 2. Dinámica de usos de energía geotérmica y cantidad de países con este uso al 2015.	8
Tabla 3. Capacidad eléctrica de la energía geotérmica en países al año 2000 y 2005.....	10
Tabla 4. Análisis de ventajas y desventajas energía geotérmica.	11
Tabla 5. Clasificación y descripción general de la energía geotérmica.	18
Tabla 6. Impacto esperado según tipo de entalpía.....	19
Tabla 7. Características y parámetros para Ley de Fourier adaptada.	26
Tabla 8. Características y parámetros para Ley de Fourier adaptada en suelo Franco arcilloso de Ñuble.	27
Tabla 9. Principales usos de la energía geotérmica de muy baja entalpía de uso directo y su aplicabilidad en Ñuble.....	28
Tabla 10. Características para cotización.....	300
Tabla 11. Valor aproximado aplicación bomba de calor geotérmica de circuito cerrado horizontal en pasaje de 18 casas.	311
Tabla 12. Valor aproximado aplicación bombas de calor geotérmica de circuito cerrado vertical en pasaje de 18 casas.	322
Tabla 13. Principales cultivos en la región de Ñuble.	344
Tabla 14. Valor aproximado aplicación bombas de calor geotérmica de circuito cerrado horizontal en invernadero de 100m ²	35
Tabla 15. Matriz de Leopold para Bomba de Calor geotérmica.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cinturón de fuego del pacifico, obtenido de Geotermia (Núñez et al., 2013).	Página 9
Figura 2. Usos de la energía geotérmica a diferentes temperaturas. Obtenido de Geotermia Energía de la Tierra: Material de difusión para pueblos indígenas (Ministerio de Energía et al.,2018).	14
Figura 3. Reserva de la Biosfera Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja. Obtenido de Chile: Corredor biológico Nevados de Chillán Laguna del laja (CONAF, 2011).....	20
Figura 4. Compuestos PM 2,5 (ug/m ³) diarios captados por la estación Purén, Chillán. Obtenido de plataforma Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA), Ministerio de Medio Ambiente.	21
Figura 5. Número de consultas por enfermedades respiratorias en seis servicios de atención primaria en Chillán y Chillan Viejo. Obtenido de Relación entre contaminación atmosférica y consultas por enfermedades respiratorias en atención primaria de urgencia (Cifuentes et al., 2020).....	22
Figura 6. índice de correlación cruzada entre figura 4 y 5. Obtenido de Relación entre contaminación atmosférica y consultas por enfermedades respiratorias en atención primaria de urgencia (Cifuentes et al., 2020).....	222
Figura 7. Tipos de suelo en la región de Ñuble, Chile. Elaboración propia a partir de Suelos de la Región de Ñuble: Caracterización general (INIA, 2020).....	255
Figura 8. Circuito cerrado horizontal (izquierda) y circuito cerrado vertical (derecha).	29

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	Página 26
Ecuación 2	26
Ecuación 3	26
Ecuación 4	27
Ecuación 5	27

GLOSARIO

TJ/año	Tera Joule por año
MWe	Mega Watts eléctricos
ENAP	Empresa Nacional del Petróleo
IEA	International Energy Agency
HFO	Hidroflourolefinas
ODP	Potencial de agotamiento de ozono
GWP	Potencial de calentamiento global

EXPLORANDO POTENCIALES USOS DE LA ENERGIA GEOTÉRMICA EN LA ZONA CENTRO-SUR DE CHILE

EXPLORING POTENTIAL USES OF GEOTHERMAL ENERGY FROM CENTER-SOUTH ZONE OF CHILE

Palabras claves: Energía geotérmica, muy baja entalpía, impacto.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar el potencial de la energía geotérmica en la XVI región de Ñuble, Chile y el posible impacto ambiental asociado a este potencial. Para esto se realizó una separación de la energía geotérmica según su entalpía, determinando por las condicionantes del terreno que la energía de muy baja entalpía es la opción predilecta para explotar en la región, esto a su vez, traería una serie de beneficios a la región, entre los que se encuentran una descongestión del sistema público de salud por enfermedades respiratorias, un aumento en la calidad de vida de los habitantes dado por un mejoramiento en la calidad del aire atmosférico. Posterior a esto se estiman las aplicaciones reales de acuerdo con el potencial de la energía geotérmica en la región, valorizando un proyecto basado en una ubicación real en la comuna de Chillán para la explotación de la energía geotérmica de baja entalpía en forma de bombas de calor, además de estimar el valor aproximado para elaborar invernaderos geotérmicos de 100m², siendo de gran ayuda en los meses de estación fría en una región que basa su economía en la actividad agropecuaria y silvícola.

Para estas soluciones energéticas se debió dilucidar si conllevan riesgos medioambientales, para lo cual se procedió a realizar una Matriz de Leopold donde a partir de los resultados, declarados como conjunto de juicios de valor, se determina que es una energía ambientalmente amigable, aunque, al ser un país sísmico tiene un aspecto negativo no controlable, siendo este una fuga que puede contaminar los medios agua y suelo, pero, las tecnologías actuales permiten tener refrigerantes cada vez más inocuos con el medio ambiente.

EXPLORING POTENTIAL USES OF GEOTHERMAL ENERGY FROM CENTER-SOUTH ZONE OF CHILE

Keywords: Geothermal energy, very low enthalpy, impact.

SUMMARY

The objective in the present work was to determine the potential of geothermal energy in XVI region of Ñuble, Chile and the possible environmental impact associated with them. For that, a separation was made of the geothermal energy according to its enthalpy, determining by the soil conditions that the very low enthalpy energy is the best option to exploit in the region, this in turn, brings to the region a series of benefits, among which are a public health system decongestion by respiratory diseases, and an increase in inhabitants life quality by improving the atmospheric air quality. Later the real applications have been estimated in accordance with the geothermal energy potential in the region, valorizing a project based on a real Chillan commune location for low enthalpy geothermal energy exploitation in the form of heat pump, besides estimating an approximate worth to craft geothermal greenhouse of 100m², which is very helpful in cold season months in a region with an economy relying on silvicolous and agricultural activities. For these energy solutions it was due to elucidate if they entail environmental risks, for which we proceeded to make a Leopold matrix where starting results, how set of value judgments, set are determined that is an environmental friendly energy, although, to be a seismic country have a negative non controllable aspect,

being this a leak that can contaminate the medium water and soil, but, the actual technologies allow have increasingly innocuous refrigerant with environment.

1. INTRODUCCION

La humanidad a lo largo de la historia ha mantenido una cantidad demográfica muy reducida, hubo que esperar hasta principios del siglo XIX para que alcanzara la cifra de mil millones, en este punto se realiza una rápida expansión demográfica, superando los 6000 millones durante el siglo XX, hasta llegar a la actualidad, donde se superan los 7500 millones y sigue al alza, con un aproximado de 80 millones cada año (Vilches & Pérez, 2017.).

Esta gran cantidad de población mundial ha llevado a la humanidad a buscar soluciones energéticas, en el siglo XI se comienza a utilizar la fuerza hidráulica y a finales del siglo XII aparece en Inglaterra el molino de viento, utilizados como fuerza industrial con menor proporción que el agua (Pacheco-Florez & Melo-Poveda, 2015.)

En el siglo XVIII la energía que consume la humanidad depende mayormente de fuentes de la biomasa (como aceite de ballena para iluminar). A mediados del siglo XIX, la revolución industrial trajo un gran cambio a las fuentes de energía, pasando al uso del carbón, principalmente para motores a vapor, ya en el siglo XX, se fue haciendo un cambio gradual a fuentes con mayor contenido de energía como el petróleo y el gas natural (Kelkar, 2015.).

Debido al problema demográfico y que estos combustibles no se renuevan, se estimó en 2015 que en el año 2020 comenzaría el declive mundial en la producción de petróleo (Kelkar, 2015.), siendo esto así en la actualidad

(Statista, 2022). Lo anterior significa el fin de la era de los combustibles fósiles y el comienzo de la escasez de energía; por esto, durante los últimos años se han buscado alternativas más eco-amigables y renovables, ahí es donde se encuentran diferentes alternativas, siendo una de las más utilizadas la opción hídrica, pero debido a la crisis que amenaza al planeta (Nemecio, 2019) es que se busca explorar otros campos que pueden ser igual o más eficientes y amigables con el ambiente.

Entre estas nuevas alternativas buscadas, se encuentran las energías renovables más utilizadas en la actualidad, como la solar y eólica, las cuales son buenas opciones, sin embargo, la energía geotérmica representa una mejor opción respecto a ellas, ya que como se observa en la tabla 1 requiere de un reducido espacio superficial, no depende de factores externos y es poco contaminante, entre otros.

Tabla 1. Análisis comparativo de ventajas y desventajas de la energía geotérmica respecto de otras fuentes energéticas renovables.

	geotérmica	Eólica	Solar
Depende de factores no controlables	NO	SI	SI
Espacio superficial	Poco	Mucho	Mucho
Coste inicial	Elevado	Elevado	Elevado
contaminación asociada a materiales de construcción	NO	NO	Alto (Sulfuro de cadmio)

Fuente: Elaboración propia a partir de Energía eólica: ventajas y desventajas de su utilización en Colombia (Moreno, 2013), Energía solar (Gonzalez-Longatt, 2008) y Energía geotérmica: Aprovechando la Potencia de la Tierra para Impulsar el Futuro Energético de Chile (NRDC, 2013).

La energía geotérmica, es una fuente de energía renovable inagotable en escala de tiempo humana, que consiste en utilizar el calor contenido en el interior de la Tierra, siendo recuperada y explotada por el ser humano (Dickson & Fanelli, 2004.).

Tabla 2. Dinámica de usos de energía geotérmica y cantidad de países con este uso al 2015.

Uso	Potencial (TJ/año)	Número de países con este uso (2015)
Bombas de calor geotérmicas.	325028	48
Calefacción de espacios.	88222	28
Calefacción de invernadero y suelo cubierto.	26662	31
Calentamiento de estanques y canales de acuicultura.	11958	21
Secado de cultivos agrícolas.	2030	15
Calor de proceso industrial.	10453	15
Derretimiento de nieve y enfriamiento del espacio.	2600	6
Baño y natación.	119381	70

Fuente: Modificación a tabla obtenida de Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review (Lund y Boyd, 2016).

Como se observa en la Tabla 2. La energía geotérmica es versátil, siendo capaz de ser utilizada en grandes empresas con un fin comercial, como también con fines turísticos y sociales, teniendo así un factor de diversificación que permite convertir esta energía en una gran opción a futuro.

La energía geotérmica no es nueva, puesto que hay usos conocidos que datan del imperio romano (Miró, 1992), los países con mayor desarrollo respecto a esta energía, como se puede observar en la tabla 3, en su mayoría forman parte del cinturón de fuego del pacifico (Núñez, Díaz, Velásquez. 2013).

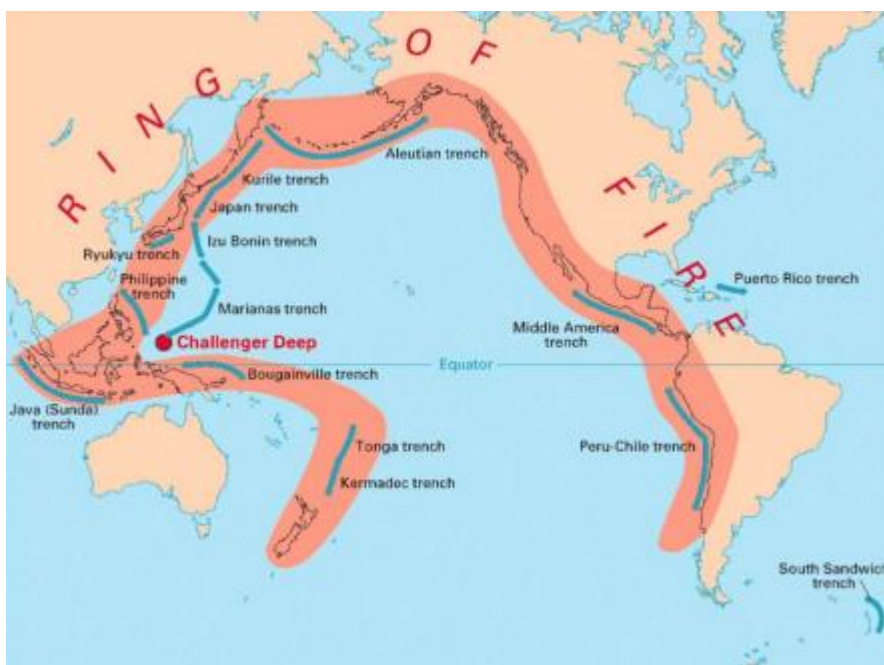


Figura 1. Cinturón de fuego del pacifico, obtenido de Geotermia (Núñez et al., 2013).

Tabla 3. Capacidad eléctrica de la energía geotérmica en países al año 2000 y 2005.

País	Capacidad Instalada año 2000 (Mwe)	Capacidad Instalada año 2005 (Mwe)
Argentina	0	0
Australia	0,17	0,2
Austria	0	1
China	29,17	28
Costa Rica	142,5	163
El Salvador	161	151
Etiopía	8,52	7
Francia	4,2	15
Alemania	0	0,2
Guatemala	33,4	33
Islandia	170	322
Indonesia	589,5	797
Italia	785	790
Japón	546,9	535
Kenia	45	127
México	755	953
Nueva Zelanda	437	435
Nicaragua	70	77
Papúa Nueva Guinea	0	39
Filipinas	1909	1931
Portugal	16	16
Rusia	23	79
Tailandia	0,3	0,3
Turquía	20,4	20,4
Estados Unidos	2228	2544

Fuente: Adaptación de Potencia instalada en el mundo, Geotermia (Núñez et al., 2013).

De los seis países que superan los 500MW al año 2005, cinco son parte del cinturón de fuego del pacifico, por lo que se comprueba el potencial respecto a

la energía geotérmica que esto significa, cabe resaltar que Chile también se encuentra inserto en el mismo “anillo” geográfico.

Tabla 4. Análisis de ventajas y desventajas energía geotérmica.

Ventajas	<ul style="list-style-type: none">• Es inagotable.• Permite dejar atrás los combustibles fósiles.• No contamina.• Es económica de mantener operativa.• No tiene un precio marcado de manera global, propone autonomía.• Es fácil de controlar y de predecir.• Produce durante día y noche de igual manera.• Es versátil, pudiendo ser utilizada de manera comercial como social.• Genera frío en verano y calor en invierno.
----------	--

Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Gran inversión inicial. • Requiere estudios de terreno minuciosos. • De manera comercial, su transporte y almacenamiento es complejo. • De manera comercial, deteriora físicamente el lugar del que se extrae la energía. • Una reparación es costosa.
-------------	--

Fuente: Elaboración propia a partir de Geotermia (Ministerio de Energía et al., 2018).

Como se puede observar en la tabla número 4, la mayor desventaja son los costes iniciales, desde los estudios de terreno previos, hasta la inversión en infraestructura (a nivel comercial) y en creación de ductos subterráneos (a nivel social). Esto es un desafío para la expansión e implementación de esta fuente de energía, solucionable en parte buscando nuevos sistemas de perforación o incentivos a las empresas desarrolladoras de proyectos (Erices, 2017). Actualmente es una gran opción debido a su casi inexistente coste una vez instalado a nivel social, pudiendo calentar una casa en invierno y también enfriar la misma en verano, puesto que la temperatura del subsuelo es menor a la superficie en verano y mayor a la superficie en invierno (Geotermia, 2018).

El mercado energético chileno está en crisis, la demanda aumenta cada año y la generación energética depende casi exclusivamente del recurso hídrico y de una dependencia de combustibles fósiles importados como el carbón y el petróleo, teniendo estos últimos un gran impacto medioambiental en su proceso de transformación (Valenzuela, 2011).

Chile, como se dijo anteriormente, pertenece al cinturón de fuego del pacífico (Ver Fig. 1) teniendo un 10% de los volcanes activos en el mundo, esto lo vuelve un territorio con gran potencial para la energía geotérmica, según los cálculos preliminares realizados por ENAP, el potencial factible en Chile es de 3350MWe (IEA, 2009).

A modo de ejemplo, el aprovechamiento de este potencial en generación eléctrica puede traer, además, un fomento a la formación de industrias sustentables, puesto que se reinyecta el agua al sistema a temperaturas de entre 80°C a 120°C, la cual es plenamente utilizable por otras industrias (Consejo geotérmico, 2018), lo que, aunado al potencial, otorga a Chile una gran proyección en esta área.

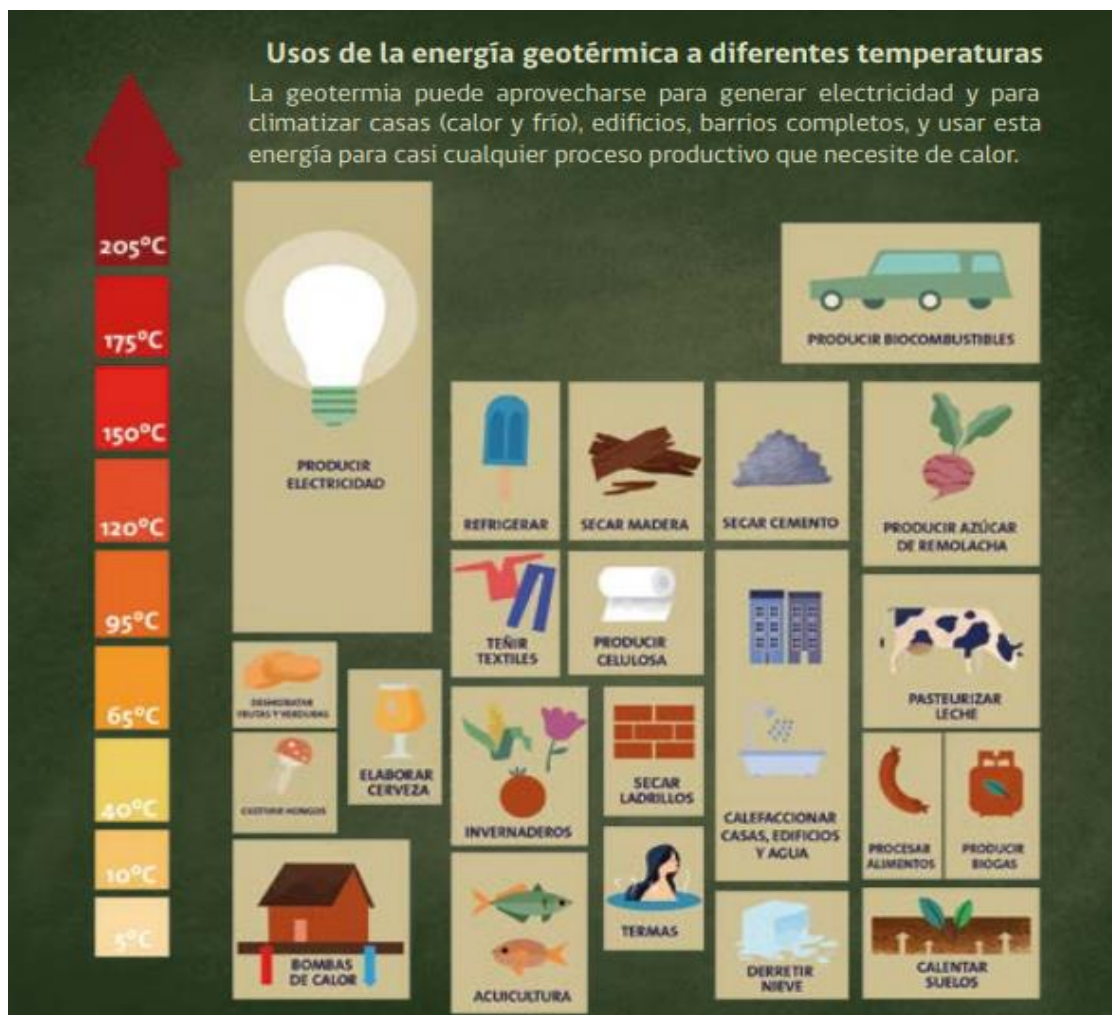


Figura 2. Usos de la energía geotérmica a diferentes temperaturas. Obtenido de Geotermia Energía de la Tierra: Material de difusión para pueblos indígenas (Ministerio de Energía et al., 2018).

Existen proyectos en Chile que buscan aprovechar este potencial, desde grandes centrales geotérmicas en el norte grande como la planta generadora Cerro Pabellón, la cual es la única central a nivel comercial geotérmica en

Sudamérica (Ministerio de Energía, 2017), hasta proyectos sociales pequeños, como utilizar energía geotérmica para dotar de agua caliente duchas de un gimnasio escolar en el sur del país (Ministerio del medio ambiente, 2018), lamentablemente, en el país aún existen vacíos en la legislación vigente sobre los efectos medioambientales que puede producir la energía geotérmica.

En la región de Ñuble, también existen proyectos que buscan potenciar la energía geotérmica, siendo el de mayor envergadura la concesión de exploración geotérmica profunda en el sector Valle de las Nieblas, en Nevado de Chillán (Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, 2007), proyecto que buscaba determinar el potencial real de la energía geotérmica a nivel comercial de la región, lamentablemente, en el sistema de evaluación de impacto ambiental no existen antecedentes sobre los resultados de esta exploración.

Existe un potencial en la región de Ñuble, dado por la cercanía con la cordillera de Los Andes, donde se encuentra el complejo volcánico nevados de Chillan, pero no existe información relevante para determinar efectivamente este potencial, además de no tener conocimiento de los riesgos ambientales asociados a este potencial, por lo cual, es necesario investigar y determinar este aspecto tan relevante.

2. OBJETIVOS

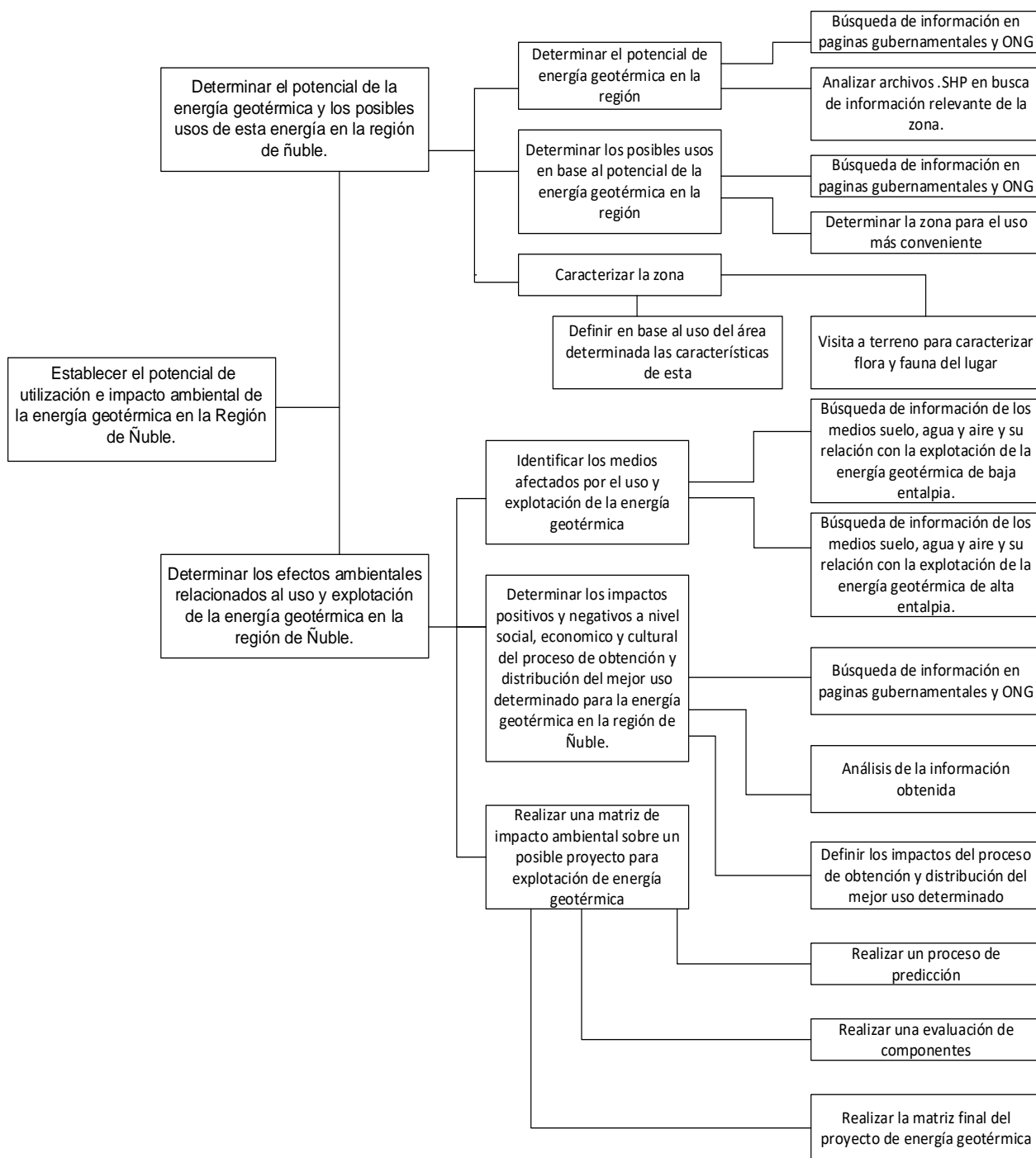
2.1 Objetivo general

Establecer el potencial de utilización e impacto ambiental de la energía geotérmica en la Región de Ñuble.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar el potencial de la energía geotérmica y los posibles usos de esta energía en la región de Ñuble.
- Determinar los efectos ambientales relacionados al uso y explotación de la energía geotérmica en la región de Ñuble.

3. METODOLOGÍA



4. RESULTADOS Y DISCUSION

Para comprender la energía geotérmica y emplear sus usos de una manera viable y sustentable, se clasifica según la temperatura a la que se encuentra el yacimiento geotérmico, existiendo en la clasificación cuatro categorías que dividen la energía (Correa, 2022) como se puede observar en la tabla 5.

Tabla 5. Clasificación y descripción general de la energía geotérmica.

Clasificación	Temperatura (°C)	Descripción general
Alta entalpía	>150°C	Suele coincidir con territorio que posea actividad sísmica elevada, formación de cordilleras en épocas geológicas recientes y volcanes situación en borde de placas litosféricas.
Media entalpía	100 - 150°C	Se ubica en zonas de adelgazamiento litosférico o similares a la clasificación de Alta temperatura, pero a menos profundidad.
Baja entalpía	30 - 100°C	Se encuentra en formaciones geológicas permeables, capaces de contener y dejar de circular fluidos que extraigan el calor de las rocas.
Muy baja entalpía	<30°C	Calor superficial captado en la corteza terrestre, adecuado para algunas aplicaciones de uso directo como calefacción.

Fuente: Adaptación de Informe técnico Energía Geotérmica (Correa, 2022).

Tabla 6. Impacto esperado según tipo de entalpía.

Tipo de entalpía	Impacto		
	Visual	Económico	Ambiental
Alta	Alto impacto	Alto impacto	Bajo impacto
Media	Medio impacto	Alto impacto	Bajo impacto
Baja	Bajo impacto	Medio impacto	Bajo impacto
Muy baja	Bajo impacto	Medio impacto	Bajo impacto

Donde: Bajo impacto Medio impacto Alto impacto

Fuente: Adaptación de Energía geotérmica: Aprovechando la Potencia de la Tierra para Impulsar el Futuro Energético de Chile (Consejo para la Defensa de Recursos Naturales, 2013).

En la Región de Ñuble el único territorio con potencial para el desarrollo de energía geotérmica de alta entalpía se encuentra en el Complejo volcánico Nevados de Chillán, ubicándose como se puede ver en la figura 3. En la reserva de la Biosfera Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja, siendo considerado una de las principales vías para asegurar la conservación del único lugar de Chile Central habitado por el huemul (San Martín, 2014). Sumado a esto y como se puede observar en la tabla 6, los costes económicos que conllevan una central geotérmica de alta entalpía son altos, comparables con la inversión de 320 millones de dólares que costó llevar a cabo la instalación de la central eléctrica “Cerro Pabellón” en el norte

de Chile (ENAP, 2017), por ello, en Ñuble no es una opción viable este tipo de aprovechamiento.

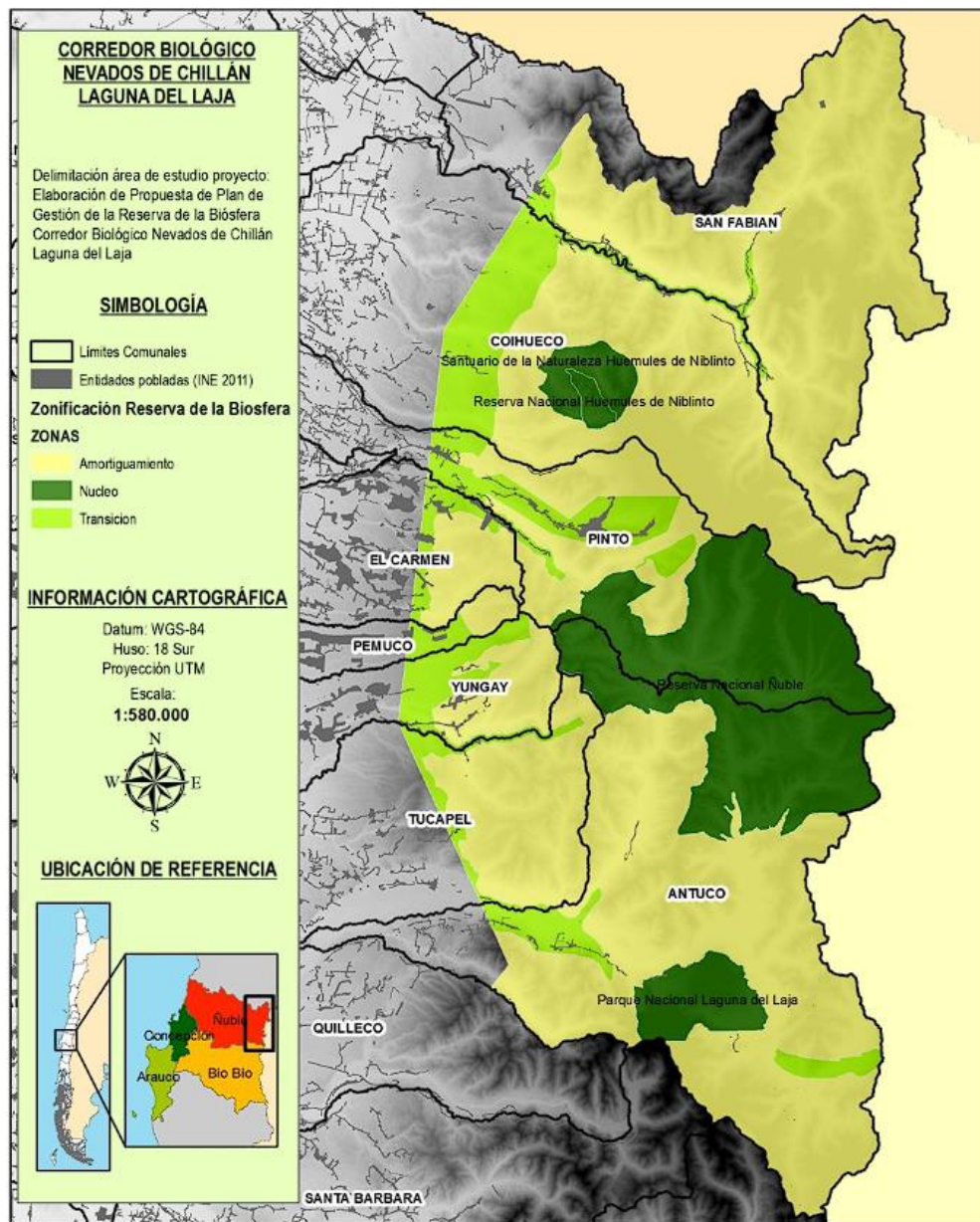


Figura 3. Reserva de la Biosfera Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja. Obtenido de Chile: Corredor biológico Nevados de Chillán Laguna del Laja (CONAF, 2011).

Debido a la condicionante del resto del terreno en la región, es que la energía geotérmica de muy baja entalpía se perfila como la mejor opción para explotar en la Región, ya que, al ser un calor contenido de manera superficial, se puede utilizar de manera directa en cualquier parte del mundo (Correa, 2022), existiendo ya tecnologías en 88 países alrededor del mundo con mecanismos de aprovechamiento directo. (Lund, 2021), teniendo ya aplicaciones masivas en países del primer mundo como se puede observar en la tabla 10. Además de esto, podemos descartar usos industriales debido a la temperatura de los yacimientos de muy baja entalpía.

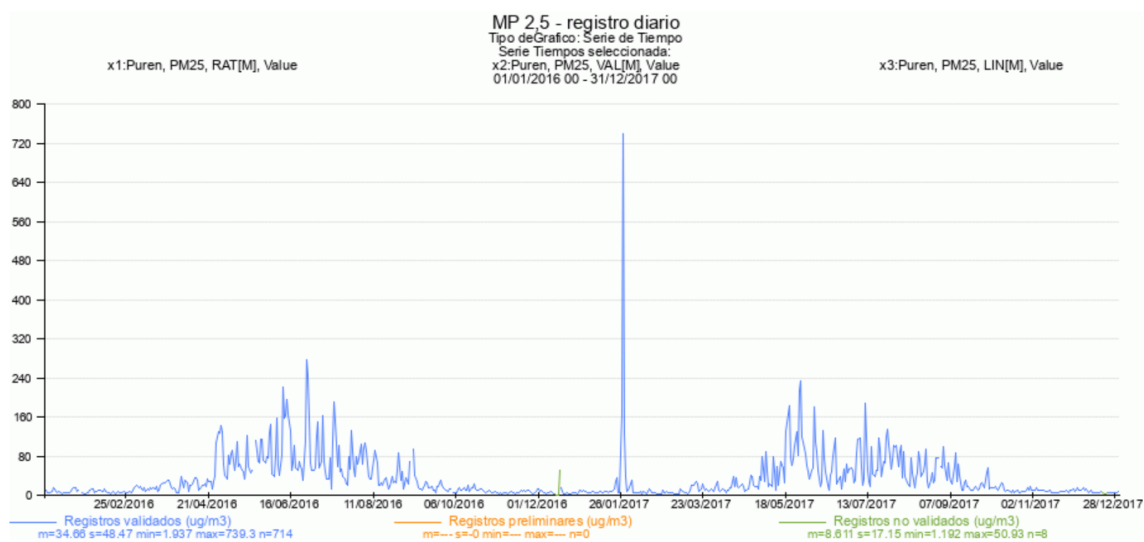


Figura 4. Compuestos PM 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) diarios captados por la estación Purén, Chillán. Obtenido de plataforma Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA), Ministerio de Medio Ambiente.

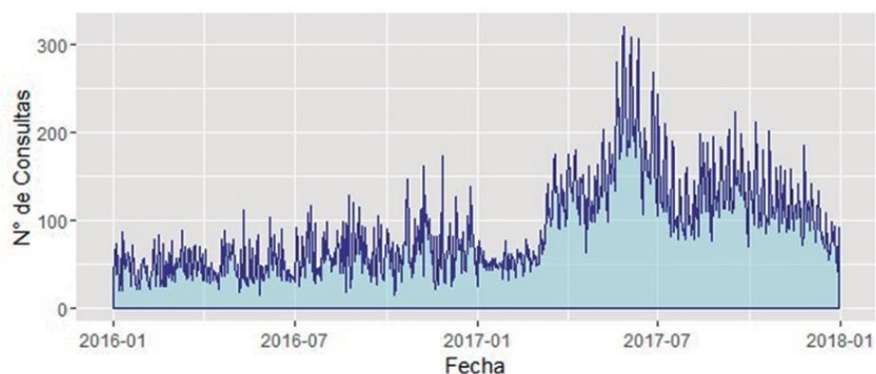


Figura 5. Número de consultas por enfermedades respiratorias en seis servicios de atención primaria en Chillán y Chillán Viejo. Obtenido de Relación entre contaminación atmosférica y consultas por enfermedades respiratorias en atención primaria de urgencia (Cifuentes et al., 2020).

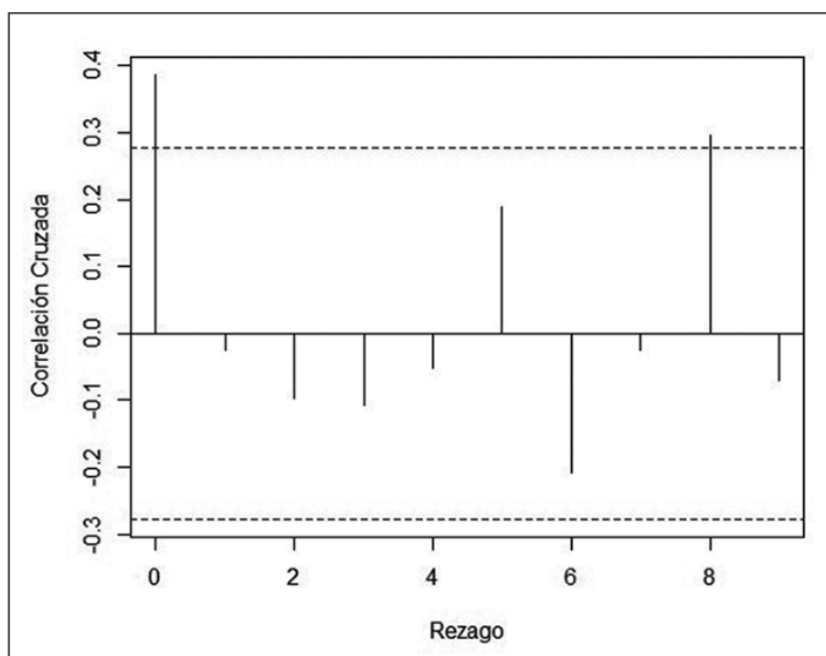


Figura 6. Índice de correlación cruzada entre figura 4 y 5. Obtenido de Relación entre contaminación atmosférica y consultas por enfermedades respiratorias en atención primaria de urgencia (Cifuentes et al., 2020).

A las condiciones geológicas ya expuestas se suman las condiciones económicas, siendo la Región de Ñuble la tercera con menor ingreso promedio mensual de sus habitantes (INE, 2021), lo que en conjunto con el deterioro ambiental de la zona caracterizado por la calidad del aire atmosférico, donde se observa en la figura 4 unos puntos álgidos en la cantidad de compuestos químicos de $PM_{2,5}$ en la atmosfera en los meses de estación fría (abril-Septiembre) respecto de la estación caliente (Octubre-Marzo), siendo concluíble que la contaminación atmosférica de la zona es considerable como un problema de origen antropogénico durante las temporadas de otoño e invierno (Celis et al., 2007). Este problema afecta a la población, como se observa en la figura 5, las consultas por problemas respiratorios que se presentan en la comuna de Chillán y Chillán Viejo aumentan en los episodios álgidos de contaminación atmosférica, existiendo un índice de correlación cruzada como se observa en la figura 6 estadísticamente significativo, es decir, que los datos no son obra del azar (Cifuentes et al., 2020).

Estos tres puntos hacen necesario un impulso en los proyectos que busquen explotar la energía geotérmica de muy baja entalpía en la zona.

La versatilidad que muestran los usos directos de la energía geotérmica de muy baja entalpía como se muestra en la tabla 10, se tornan de gran importancia al poder ayudar a la Región a superar los problemas económicos, sociales y ambientales, tales como, por ejemplo, el uso de

bombas de calor domiciliarias, que disminuiría la contaminación atmosférica en la estación fría, ya que el uso de leña se vería reducido sumando además como efecto colateral que el negocio de venta no certificada por el Consejo Nacional de Certificación de leña (Conacel) sería duramente golpeado por la nueva oferta y demanda energética de la zona, como también, a nivel social se esperaría una reducción en los sistemas de atención primaria por afecciones respiratorias en los meses de la estación fría.

Considerando la clasificación de la energía geotérmica y los criterios básicos necesarios para encontrar cada subdivisión de la energía geotérmica es de especial importancia el conocimiento del terreno, es por esto que se realiza la figura 7, en la que se da cuenta que el suelo predominante en la región es de tipo Franco Arcilloso, ubicándose gran parte en zona de valle central de la región, siendo esto de terreno mayoritariamente plano entre la cordillera de la Costa en el este y la cordillera de los Andes en el oeste (Hayek, Castri, 1975).

Suelo Región de Ñuble

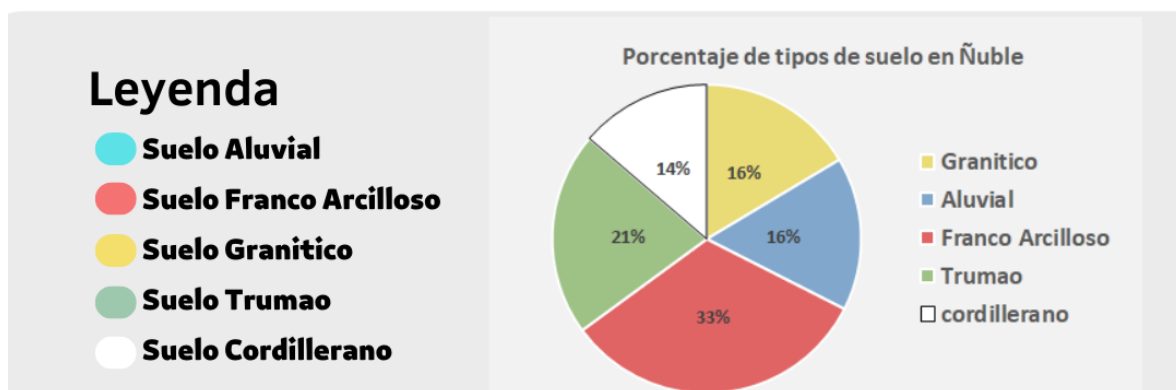
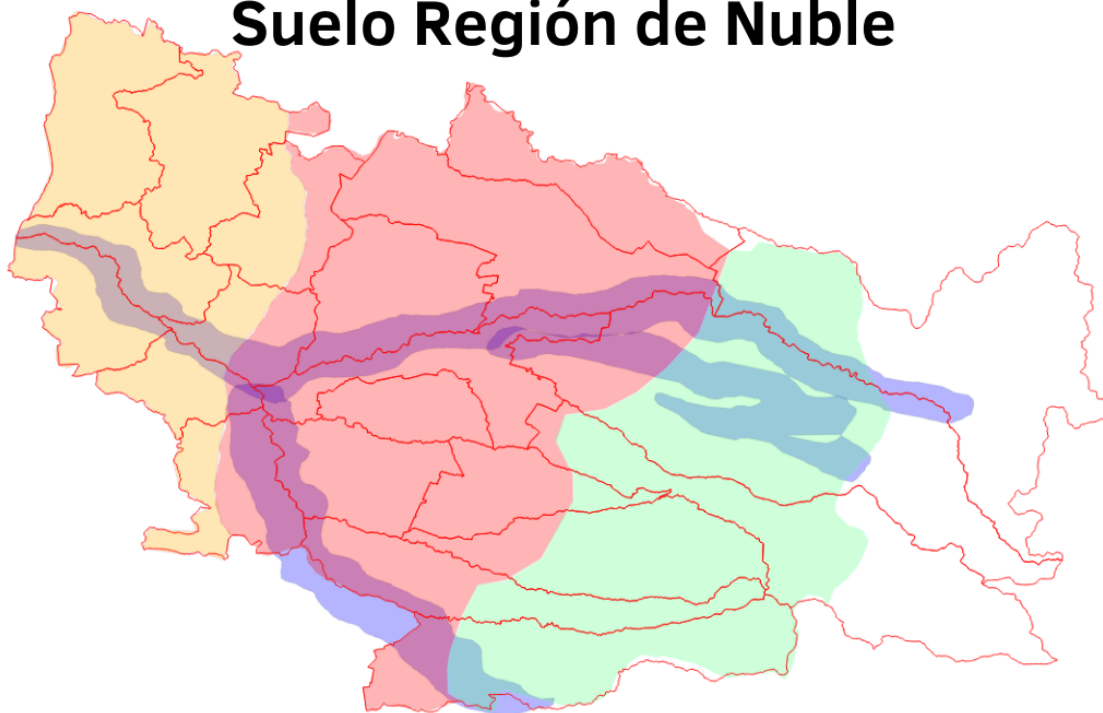


Figura 7. Tipos de suelo en la región de Ñuble, Chile. Elaboración propia a partir de Suelos de la Región de Ñuble: Caracterización general (INIA, 2020).

Teniendo una primera aproximación hacia el potencial geotérmico de la zona se puede empezar a pensar en las aplicaciones reales de las mismas, por lo que se utiliza la Ley de Fourier como se observa en la Ecuación 1 y 2 para acercar ese resultado primario.

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{k * A}{\Delta x} * (T2 - T1) \quad [1]$$

$$Q = \frac{k * A}{x} * (T2 - T1) \quad [2]$$

Tabla 7. Características y parámetros para Ley de Fourier adaptada.

característica	parámetro
Temperatura Mínima (K)	T1
Temperatura Máxima (K)	T2
Área (m ²)	A
Conductividad térmica (W/mK)	k
Espesor (m)	x
Según tipo de suelo	
Porcentaje LIMO suelo (%)	p1
Porcentaje ARENA suelo (%)	p2
Porcentaje ARCILLA suelo (%)	p3
Conductividad térmica suelo "ARENA" (W/mK)	0,25
Conductividad térmica suelo "ARCILLA" (W/mK)	0,391
Conductividad térmica suelo "Limo" (W/mK)	1,22

Fuente: Elaboración propia.

$$k = \left(0,25 * \left(\frac{p2}{100} \right) \right) + \left(0,391 * \left(\frac{p3}{100} \right) \right) + \left(1,22 * \left(\frac{p1}{100} \right) \right) \quad [3]$$

Para ejemplificar la aplicación de la ley de Fourier adaptada que se observa en la Ecuación 2 se utilizarán datos relacionados al suelo "Franco arcilloso" en la región de Ñuble y para obtener la conductividad térmica del suelo se utiliza la ecuación 3 en la teoría y 4 en la práctica.

Por lo que:

Tabla 8. Características y parámetros para Ley de Fourier adaptada en suelo Franco arcilloso de Ñuble.

característica	Parámetro
Temperatura Mínima (K)	269,4
Temperatura Máxima (K)	309,5
Area (m ²)	5023000000
Conductividad térmica (W/mK)	k
Espesor (m)	4
Según tipo de suelo	
Porcentaje LIMO suelo (%)	30
Porcentaje ARENA suelo (%)	35
Porcentaje ARCILLA suelo (%)	35
Conductividad térmica suelo "ARENA" (W/mK)	0,25
Conductividad térmica suelo "ARCILLA" (W/mK)	0,391
Conductividad térmica suelo "Limo" (W/mK)	1,22

Fuente: Elaboración propia.

$$k = \left(0,25 * \left(\frac{35}{100} \right) \right) + \left(0,391 * \left(\frac{35}{100} \right) \right) + \left(1,22 * \left(\frac{30}{100} \right) \right) = 0,59 \quad [4]$$

$$Q = \frac{(0,59 * 5023000000)}{4} * (309,5 - 269,4) = 27,9 \text{ GW} \quad [5]$$

Teniendo en consideración que el único parámetro para delimitar la zona fue la superficie Franco Arcillosa en la Región de Ñuble, es entendible que el valor resultante en la ecuación 5 de determinación transmitido en una hora promedio en el suelo Franco arcilloso en Ñuble del calor sea alto, pues la cantidad de metros cuadrados abarcentes es muy alta, en el orden de 5023km².

Tabla 9. Principales usos de la energía geotérmica de muy baja entalpía de uso directo y su aplicabilidad en Ñuble.

Uso	Ejemplo de países que utilizan		Aplicable en la Región
Bombas de calor domiciliaria	Alemania	Suiza	✓
Calefacción urbana	Alemania	Reino Unido	✓
Secar Madera	Nueva Zelanda		X
Invernadero geotérmico	México	Chile	✓

Fuente: Elaboración propia a partir de Energía Geotérmica: Principales usos. Ejemplos de incentivos para su desarrollo (BNC, 2019).

Como se observa en la tabla 10, hay una serie de usos aplicables en la región, ya probados y utilizados en países del primer mundo, como la Bomba de Calor, la cual es en palabras simples un intercambiador de calor entre el subsuelo y la habitación, permitiendo entregar aire acondicionado, calefacción o abastecer de agua caliente sanitaria a cualquier instalación que requiera de frío o calor (Programa Energías Renovables y Eficiencia Energética, 2020), existiendo principalmente dos tipos de instalaciones con circuito cerrado (que no requiere una fuente de agua subterránea) como se puede observar en la figura 8.

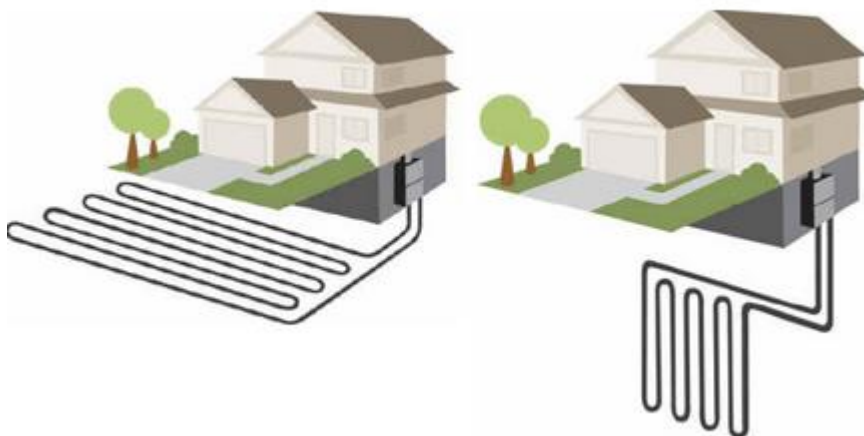


Figura 8. Circuito cerrado horizontal (izquierda) y circuito cerrado vertical (derecha).

Para ejemplificar el uso que se le puede dar a esta fuente energética en la región, se observa en la tabla 12 y 13 una cotización con valores al año 2020 (Ministerio de energía, 2020), utilizando el valor estadístico mediana para cada categoría, esto, para utilizar un sistema de Bomba de Calor geotérmica de circuito cerrado en un pasaje ubicado en la comuna de Chillán, específicamente en la Villa el Nevado y los detalles se observan en la tabla 10.

Tabla 10. Características para cotización.

característica	Cantidad
Cantidad de casas	18
Metros cuadrados de terreno	120
Metros cuadrados por casa	60
Metros cuadrados a calefaccionar por casa	48
Porcentaje de la casa con losa radiante	80

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones in situ.

Tabla 11. Valor aproximado aplicación bomba de calor geotérmica de circuito cerrado horizontal en pasaje de 18 casas.

Ítem	Valor	kWt	m ²	M ² por casa	%	Valor aproximado (CLP)
Bomba de calor geotérmica reversible para Clima	\$ 181.150,00	100	-	-	-	\$18.115.000
Instalación bomba de calor	-	-	-	-	30	\$23.549.500
Metro cuadrado de cañería enterrada en circuito cerrado horizontal	\$27.000,00	-	1728	96	-	\$46.656.000
Mantenimiento preventiva	\$10.000,00	100	-	-	-	\$1.000.000
Suministro e instalación de losa radiante	\$27.500,00	-	864	48	-	\$23.760.000
Total por metro cuadrado irradiado (m ²): \$ 109.913,77						Total \$ 94.965.500,00
						Total por casa \$ 5.275.861,11

Fuente: Elaboración propia a partir de Índice de precios Bomba de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile (Ministerio de Energía, 2021).

Tabla 12. Valor aproximado aplicación bombas de calor geotérmica de circuito cerrado vertical en pasaje de 18 casas.

Ítem	Valor	kWt	m2	Metros lineales por casa	%	Valor aproximado (CLP)
Bomba de calor geotérmica reversible para Clima	\$181.150,00	100	-	-	-	\$18.115.000
Instalación bomba de calor	-	-	-	-	30	\$23.549.500
Metro lineal de cañería enterrada en circuito cerrado horizontal	\$120.000,00	-	-	60	-	\$129.600.000
Mantenimiento preventiva	\$10.000,00	100	-	-	-	\$1.000.000
Suministro e instalación de losa radiante	\$27.500,00	-	1080	-	-	\$29.700.000
Total por metro cuadrado irradiado (m ²): \$ 170.231,02						Total \$ 183.849.500,00
						Total por casa \$ 10.213.861,11

Fuente: Elaboración propia a partir de Índice de precios Bomba de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile (Ministerio de Energía, 2021).

Se observa como el costo de una instalación de circuito cerrado vertical prácticamente duplica en valor a la inversión necesaria para un sistema horizontal, esto se debe, en gran medida, al precio por metro de cañería enterrada, ya que para el circuito vertical se necesitan perforaciones

profundas, siendo por ejemplo 18 pozos de 60 metros de profundidad cada uno, mientras que para el circuito horizontal se precisa de cañerías enterradas a una profundidad menor a 15 metros (Ministerio de Energía, 2021).

Si bien en primera instancia pareciera atractivo un sistema horizontal, al observar detenidamente se da cuenta que se requieren 96m^2 de cañerías enterradas por casa, pero se tiene un terreno base no edificado es de 60m^2 por terreno, esto sin contar que el terreno quedaría comprometido para usos futuros como una ampliación de la vivienda. Por lo que la opción con un mayor valor monetario se perfila como una gran alternativa doméstica, requiriendo una gran inversión inicial que se amortigua aproximadamente entre 5 y 7 años (Peña, 2022).

Aún así, en una región que basa su economía en la actividad agropecuaria y silvícola, la energía geotérmica presenta una gran alternativa en los procesos productivos primarios, esto si vemos otros usos para las Bombas de Calor geotérmicas. En el sur de Chile por ejemplo, se utiliza la energía geotérmica de muy baja entalpía para calefaccionar huertos de hortalizas que ayudan a la reinserción social y laboral de reclusos en el recinto penitenciario de puerto Aysén (Facultad de ciencias físicas y matemáticas Universidad de Chile, 2017), lo que puede ser utilizado y extendido en nuestra región, buscando un impulso productivo a la industria agrícola, observando la tabla 14 se pueden dilucidar los principales cultivos menores de la región.

Tabla 13. Principales cultivos en la región de Ñuble.

Categoría	Especie	Hectáreas
Cereal	Trigo harinero	31524
	Trigo candeal	5613
	Avena	14692
	Maíz	13360
Industrial	Remolacha	5856
	Choclo	9899
Hortícola	Lechuga	7136
	Tomate Fresco	5294

Fuente: Elaboración propia a partir de Agricultura de la nueva Región de Ñuble: Una caracterización sectorial (INIA, 2020).

Para comprender los costos que conlleva y la autonomía que propone un sistema de huerta geotérmica, se presenta en la tabla 15 con los costos aproximados para pequeños invernaderos que pueden ser conectados en serie, para así satisfacer diferentes necesidades agrícolas de la zona.

Tabla 14. Valor aproximado aplicación bombas de calor geotérmica de circuito cerrado horizontal en invernadero de 100m².

Item	Valor	kWt	m ² por invernadero	Cantidad por invernadero	%	Valor aproximado (CLP)
Bomba de calor geotérmica reversible para Clima	\$315,000.00	10	-	-	-	\$3,150,000
Instalación bomba de calor	-	-	-	-	30	\$4,095,000
Metro cuadrado de cañería enterrada en circuito cerrado horizontal	\$25,000.00	-	150	-	-	\$3,750,000
Mantenimiento preventiva	\$10,000.00	10	-	-	-	\$100,000
Suministro e instalación de radiador	\$45,417.00	5	-	2	-	\$454,170

Total por metro cuadrado calefaccionado (m ²): \$ 83.991,7	Total	\$ 8,399,170.00
--	-------	-----------------

Fuente: Elaboración propia a partir de Índice de precios Bomba de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile (Ministerio de Energía, 2021).

Se perfila como una gran opción este tipo de huerta para la estación fría, donde las lluvias y bajas temperaturas complican a los agricultores, pero se debe dilucidar si esta solución conlleva riesgos ambientales, es por ello que

se observa en la tabla 16 una matriz de Leopold, la cual se define como un sistema para el análisis de los diversos impactos. El análisis no produce un resultado cuantitativo, sino más bien un conjunto de juicios de valor (Ponce, 2013), donde verde significa impacto mínimo o sin impacto, amarillo impacto medio y rojo impacto severo.

Tabla 15. Matriz de Leopold para Bomba de Calor geotérmica.

Medio	Impacto	Fase									
		Construcción				Operación		Reemplazo (Vida útil 50 años)			
		Transporte de maquinaria pesada	Transporte de tuberías y Bomba de Calor	Excavación para tuberías	Montaje y cobertura de tuberías	Mantenimiento preventivo	Posible fuga por accidente no antropogénico (Terremoto o similar)	Transporte de maquinaria pesada	Transporte de tuberías	excavación y extracción de tuberías	Reemplazo de tuberías
Agua	Agua Superficial										
	Agua Subterránea										
Suelo	Erosión										
	Flora y Fauna										
	Contaminación al suelo										
Aire	Calidad del aire										
	Emanación de gases										
	Emanación de olores										
	Emanación de ruidos										

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 16, esta forma de transmitir calor es ambientalmente amigable, sin embargo, tiene un aspecto negativo, el cual no es controlable por el ser humano, pero puede significar contaminación a los medios agua y suelo, siendo este una posible fuga debido a un evento de la naturaleza, aún así es necesario precisar que cada vez existen refrigerantes más saludables con el medio ambiente, siendo en la actualidad mayormente utilizados refrigerantes de la familia Hidrofluorolefinas (HFO) y las sustancias naturales, los cuales se caracterizan por poseer un reducido GWP y ODP (Ministerio de Energía, 2021), siendo estos los potenciales de calentamiento global y agotamiento de la capa de ozono respectivamente. Es por ello que no se hace necesario buscar una mitigación específica para un suceso de este calibre, pues ya existen acuerdos internacionales que toman en cuenta estos índices (ODP y GWP) para la elección de refrigerantes cada vez más inocuos con el medio, en estos acuerdos encontramos el Protocolo de Montreal (1987), el Protocolo de Kyoto (1997) y cercano a la actualidad tenemos el acuerdo de Kigali (2016).

5. CONCLUSIÓN

A partir de lo expuesto en el presente trabajo, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- 1) En la región de Ñuble, en la zona centro sur de Chile existe un potencial de utilización para la energía geotérmica de muy baja entalpia, además, la explotación de este recurso subterráneo trae beneficios a la población en el ámbito social y económico, ayudando a una región con ingresos bajo el promedio de ingresos medio mensual en Chile. Aunado a esto trae beneficios ambientales que colaboran a disminuir los episodios críticos de contaminación presentes cada año en la estación fría, lo que a su vez aliviana la carga de los servicios públicos de salud primaria que en la misma estación ven como aumentan los casos de consultas por enfermedades respiratorias.
- 2) En la misma región, la explotación de la energía geotérmica de muy baja entalpia no trae consigo problemas ambientales que se necesiten mitigar, pues es una energía limpia para los estándares actuales, lo cual es posible dilucidar al observar la matriz de Leopold para Bomba de Calor geotérmica (ver figura 16), lo que permite captar la atención y diversificar su aplicación para usos domiciliarios y agrícolas, inclusive el potencial de abarcar algunos procesos industriales, potenciando la calidad de vida y economía de la región.

6. LITERATURA CITADA

1. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. 2019. Energía Geotérmica: Principales usos. Ejemplos de incentivos para su desarrollo. [en línea]. Mellado, V. <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/28130/2/BCN_Energia_Geotermica_principales_usos_definitivo.pdf>.
2. Celis, J. E., Morales, J. R., Zaror, C. A., & Carvacho, O. F. 2007. Contaminación del aire atmosférico por material particulado en una ciudad intermedia: el caso de Chillán (Chile). Información tecnológica, 18(3): 49-58. <<https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v18n3/art07.pdf>>.
3. Cifuentes, P., A. Rodríguez, C. Luengo and L. Tapia. 2020. Relación entre contaminación atmosférica y consultas por enfermedades respiratorias en atención primaria de urgencia. Rev Chil Enferm Respir 36(4): 260-267. <<https://www.scielo.cl/pdf/rcher/v36n4/0717-7348-rcher-36-04-0260.pdf>>.
4. CONAF, 2011. Chile: Corredor Biológico Nevados de Chillán Laguna del Laja [En línea]. <https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1452194562RB_CorredorbiologicoNevadosdeChillan_Chile_2015.pdf>.
5. Consejo para la defensa de recursos naturales. 2013. Energía geotérmica: Aprovechando la Potencia de la Tierra para Impulsar el Futuro Energético de Chile. <<https://www.nrdc.org/es/resources/energia-geotermica-aprovechando-potencia-tierra-impulsar-futuro-energetico-chile>>.
6. Consejo Geotérmico. 2018. Geotermia como alternativa de reemplazo al carbón. [En línea]. <

https://energia.gob.cl/sites/default/files/20180925_presentacion_consejo_geotermico_-_sesion_5.pdf>.

7. Correa, C. 2022. Informe técnico: Energía Geotérmica. Universidad de Concepción. Chile. (Informe técnico).
8. Dickson, M. H., & Fanelli, M. 2004. ¿Qué es la energía geotérmica? Instituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italia. [En línea]. <
http://www.lis.edu.es/uploads/812fe7d1_d505_4825_9db3_8438d78a406c.pdf>.
9. ENAP. 2017. Cerro Pabellón. [en línea] <
https://www.enap.cl/pag/683/1829/cerro_pabellon>.
10. Erices, L., & Andrés, S. 2017. Estudio de factibilidad para la instalación de una central geotérmica en Chile. Trabajo final de grado, Ingeniero Civil Mecánico. Universidad del Bio-Bio. Concepcion, Chile.
11. Facultad de ciencias físicas y matemáticas Universidad de Chile. 2017. CEGA lleva el primer invernadero geotérmico a la Patagonia. [En línea]. <
<https://ingenieria.uchile.cl/noticias/139912/cega-lleva-el-primer-invernadero-geotermico-a-la-patagonia->>.
12. Gonzalez-Longatt, F. M. 2008. TEMA 2 5. Energía Solar. [En línea]. <
<https://fglongatt.org/OLD/Archivos/Archivos/SistGD/PPT-Tema2.5.FotoV.pdf>>
13. Hayek, E., F. Di Castri. 1975. Bioclimatología de Chile. Dirección de Investigación, Vicerrectoría Académica, Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.
14. Hizrel, J. 2020. Suelos de la región de Ñuble: caracterización general. Pp 101-124. Agricultura de la nueva región de Ñuble: Una caracterización sectorial. Ñuble, Chile. [En línea]. <

https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/32878/IN_DAP_2020_agricultura_region_%c3%b1uble_caracterizacion_sectorial.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

15. INIA. 2020. Agricultura de la nueva Región de Ñuble: Una caracterización sectorial. Chillán, Chile. [En línea]. <
https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/32878/IN_DAP_2020_agricultura_region_%c3%b1uble_caracterizacion_sectorial.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
16. International Energy Agency. 2009. Chile: Energy Policy Review 2009. [En línea]. <
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/a823ead0-aa33-4baf-93d1-54d60909e70b/chile2009.pdf>>.
17. Instituto Nacional de Estadística (INE). 2021. Síntesis de Resultados: Encuesta Suplementaria de Ingresos. [En línea]. <
<https://www.ine.cl/docs/default-source/encuesta-suplementaria-de-ingresos/publicaciones-y-anuarios/s%C3%ADntesis-de-resultados/2021/s%C3%ADntesis-nacional-esi-2021.pdf>>.
18. Kelkar, N. 2015. Historia de la energía: Desde los combustibles fósiles a la energía nuclear. MOMENTO. 50. pp: 58-68. [En línea]. <
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/momento/article/view/54442/53677>>.
19. Lund, J., Boyd T. 2016. Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review. Geothermics. 60: 66-93. [En línea]. <
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037565051500156X>>.
20. Lund, J. W., Hutterer, G. W., and Toth, A. N. 2022. Characteristics and trends in geothermal development and use, 1995 to 2020. Geothermics. 105(102522). [En línea].

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0375650522001687>>.

21. Ministerio de Energía. 2017. Opera en Chile la primera planta geotérmica de Sudamérica. [En línea]. <<https://energia.gob.cl/noticias/antofagasta/opera-en-chile-la-primera-planta-geotermica-de-sudamerica>>.
22. Ministerio de Energía. 2018. Geotermia Energía de la Tierra: Material de difusión para comunidades indígenas. [En línea]. Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes, Facultad de ciencias físicas y matemáticas Universidad de Chile. [En línea]. <https://energia.gob.cl/sites/default/files/brochure_geotermia_25.06.2018_0.pdf>.
23. Ministerio de Energía. 2021. Estudio de mercado Bombas de Calor geotérmicas y Aerotérmicas en Chile. [En línea]. Fuchs, D. I, Jofré. <https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/estudio_de_mercado.pdf>.
24. Ministerio de Energía. 2021. Índice de precios Bombas de Calor Geotérmicas y aerotérmicas en Chile. [En línea]. Fuchs, D. I, Jofré. <https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/indice-de-precios_bombas_de_calor_2020.pdf>.
25. Ministerio del Medio Ambiente. 2018. Inauguran innovador proyecto de energía geotérmica en Calera de Tango, gracias al Fondo de Protección Ambiental. [En línea] <<https://mma.gob.cl/inauguran-innovador-proyecto-de-energia-geotermica-en-calera-de-tango-gracias-al-fondo-de-proteccion-ambiental/>>
26. Ministerio de Medio Ambiente. 2022. Estación Purén. [En línea]. Sistema de información Nacional de Calidad del Aire (SINCA). <<https://sinca.mma.gob.cl/index.php/estacion/index/key/873>>.

27. Miró, C. 1992. La arquitectura termal medicinal de época romana en Catalunya: las termas de Caldes de Montbui como ejemplo. *Espacio, Tiempo y Forma*. 2: 255-276. [En línea]. <<http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:ETFSerie2-20F808B5-592B-35D3-6007-0B46597CE8A5/Documento.pdf>>.
28. Moreno, P. 2013. Energía eólica: ventajas y desventajas de su utilización en Colombia. Memoria de título, Especialista en gerencia ambiental. Universidad Libre, Instituto de posgrados de ingeniería. Bogotá, Colombia.
29. Nemecio, J. 2018. Agua, poder y acumulación de capital en el neoliberalismo: Los avatares del estado mexicano al ocultar la crisis hídrica en Morelos. *ALBORES Facultad de ciencias políticas y sociales*. 2:124-159. [En línea]. <<https://www.comecso.com/wp-content/uploads/2019/01/Segundo-numero-final.pdf#page=63>>.
30. Núñez, P., Sáez, D., y Espinoza, P. 2013. Geotermia. [En línea]. <https://www.archivochile.com/Chile_actual/patag_sin_repre/03/chact_hidroy-3%2000029.pdf>.
31. Pacheco-Florez, M., Melo-Poveda, Y. 2015. Recursos naturales y energía. Antecedentes históricos y su papel en la evolución de la sociedad y la teoría económica. *Energética*. 45:107-115. [En línea]. <<https://www.redalyc.org/pdf/1470/147040741010.pdf>>.
32. Peña, Ana. 2022. Bomba de calor geotérmica para calefacción y refrigeración ¿Cómo funciona? [En línea] caloryfrio.com <<https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/geotermia/bomba-de-calor-geotermica-funcionamiento-instalacion.html>>.

33. Ponce, Victor. 2013. LA MATRIZ DE LEOPOLD PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL. [En línea]. <http://ponce.sdsu.edu/la_matriz_de_leopold.html>.
34. Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética en Chile. 2020. Ministerio de Energía y GIZ publican guía para conocer el uso y beneficios de bombas de calor. [En línea]. Ministerio de Energía. <<https://4echile.cl/noticias/ministerio-de-energia-y-giz-publican-guia-para-el-uso-y-conocer-los-beneficios-de-bombas-de-calor/>>.
35. San Martín, P. 2014. Reserva de la Biosfera Corredor Biológico Nevados de Chillán–Laguna del Laja: de la amenaza de la extinción al desarrollo sustentable. pp:146-160. En: Moreira, A. Borsdorf, A. (Eds.). Reservas de la Biosfera de Chile: Laboratorios para la Sustentabilidad. Instituto de Geografía, Santiago, serie Geolibros. Academia de Ciencias Austriaca, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
36. Sistema de evaluación de impacto ambiental. 2007, EXPLORACION GEOTERMICA PROFUNDA NEVADOS DE CHILLAN SECTOR VALLE DE LAS NIEBLAS, [En línea] <https://seia.sea.gob.cl/seia-web/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=2010231&idExpediente=2010231>
37. Statista. 2022. Producción mundial de petróleo de 1998 a 2021. [en línea]. <<https://es.statista.com/estadisticas/635470/volumen-de-petroleo-producido-a-nivel-mundial/>>.
38. Valenzuela, D. 2011. Energía geotérmica en Chile: desafíos para la obtención de recursos energéticos renovables. Tesis, Licenciado en Ciencias jurídicas. Universidad Alberto Hurtado, Facultad de derecho. Santiago, Chile.

39. Vilches, A. Gil, P. 2017. El olvido de la demografía en los estudios de Sostenibilidad. *Ápice*. 1(2): 1-17. [en línea]. <https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/20015/Apice_2017_1_2_art_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.