



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA**

**Desalinización para potabilizar agua de mar mediante la integración con  
energía geotérmica en Jipijapa, Ecuador**

**AUTORES**

**Zavala Macías, José Arturo**

**Endara Molina, Luis Francisco**

**TUTOR**

**Ing. Martínez Rehpani Colón Gilberto, M.Sc.**

**Guayaquil, Ecuador**

**8 de septiembre de 2025**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Endara Molina, Luis Francisco** y **Zavala Macias, José Arturo**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

### **TUTOR**

f.   
\_\_\_\_\_

**Ing. Gilberto Martínez Rehpani, M.Sc.**

### **DIRECTORA DE LA CARRERA**

f.   
\_\_\_\_\_

**Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther, M.Sc**

**Guayaquil, a los 8 días del mes de septiembre del año 2025**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **Endara Molina, Luis Francisco y Zavala Macias, José Arturo**

**DECLARAMOS QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Desalinización para potabilizar agua de mar mediante la integración con energía geotérmica en Jipijapa, Ecuador**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente, este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 8 días del mes de septiembre del año 2025**

**AUTORES:**

f. \_\_\_\_\_

Endara Molina, Luis Francisco

f. \_\_\_\_\_

Zavala Macías, José Arturo



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

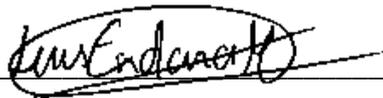
**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **Endara Molina, Luis Francisco** y **Zavala Macias, José Arturo**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Desalinización para potabilizar agua de mar mediante la integración con energía geotérmica en Jipijapa, Ecuador**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 8 días del mes de septiembre del año 2025**

AUTORES:

f. 

Endara Molina, Luis Francisco

f. 

Zavala Macías, José Arturo

# REPORTE COMPILATIO



**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**  
magister

## DESALINIZACIÓN PARA POTABILIZAR AGUA DE MAR

**9%**  
Textos sospechosos

- 1% Similitudes
- 0% similitudes entre comillas
- < 1% entre las fuentes mencionadas
- 3% Idiomas no reconocidos (ignorado)
- 0% Textos potencialmente generados por la IA

**Nombre del documento:** DESALINIZACIÓN PARA POTABILIZAR AGUA DE MAR.docx  
**ID del documento:** 9e1da0363e7f9eca78555d07b73221232a103480  
**Tamaño del documento original:** 17,18 MB

**Depositante:** Clara Catalina Glas Cevallos  
**Fecha de depósito:** 15/9/2025  
**Tipo de carga:** interface  
**Fecha de fin de análisis:** 15/9/2025

**Número de palabras:** 28.892  
**Número de caracteres:** 191.407

Ubicación de las similitudes en el documento:



**Fuentes principales detectadas**

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="http://repositorio.ucsg.edu.ec/">repositorio.ucsg.edu.ec</a>   La tutela de los derechos de los animales y las sancion... http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317237971/UCSG-CA15-23336.pdf 1 fuente similar	< 1%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 10%; background-color: #000;"></div></div>	Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
2	<a href="http://localhost:8080/revista/bitstream/331718059/37-UCSG-PRE-TEC-IECA-147.pdf">localhost</a>   Evaluación de controladores PID y FST aplicado a sistemas de calefacc... http://localhost:8080/revista/bitstream/331718059/37-UCSG-PRE-TEC-IECA-147.pdf	< 1%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 10%; background-color: #000;"></div></div>	Palabras idénticas: < 1% (58 palabras)
3	<a href="http://www.xciclo.org.co">www.xciclo.org.co</a> http://www.xciclo.org.co/pdf/boge/v45n1/A120-0283-boge-45-01-115.pdf 2 fuentes similares	< 1%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 10%; background-color: #000;"></div></div>	Palabras idénticas: < 1% (51 palabras)
4	<a href="https://editorialibkn.com">editorialibkn.com</a> https://editorialibkn.com/index.php/ochasun/article/view/502	< 1%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 10%; background-color: #000;"></div></div>	Palabras idénticas: < 1% (52 palabras)
5	Documento de otro usuario #60388 Viene de otro grupo	< 1%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 10%; background-color: #000;"></div></div>	Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)

**Fuentes con similitudes fortuitas**

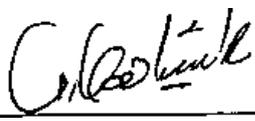
N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v14i6.49088">dx.doi.org</a> http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v14i6.49088	< 1%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 10%; background-color: #000;"></div></div>	Palabras idénticas: < 1% (16 palabras)
2	<a href="https://todoingenierias.com/paises-que-usan-energia-geotermica-como-fuente-renovable/">todoingenierias.com</a>   Países que usan energía geotérmica como fuente renova... https://todoingenierias.com/paises-que-usan-energia-geotermica-como-fuente-renovable/	< 1%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 10%; background-color: #000;"></div></div>	Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)
3	Documento de otro usuario #31363 Viene de otro grupo	< 1%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 10%; background-color: #000;"></div></div>	Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)
4	Documento de otro usuario #6357 Viene de otro grupo	< 1%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 10%; background-color: #000;"></div></div>	Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)
5	<a href="http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/33000/7574">repositorio.unesum.edu.ec</a>   Diseño de estrategia de promoción turística de la c... http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/33000/7574	< 1%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 10%; background-color: #000;"></div></div>	Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)

**Fuentes ignoradas** Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	DESALINIZACIÓN PARA POTABILIZAR AGUA DE MAR.docx   DESALINIZ... #102476 Viene de mi biblioteca	100%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #000;"></div>	Palabras idénticas: 100% (28.889 palabras)
2	DESALINIZACIÓN PARA POTABILIZAR AGUA DE MAR MEDIANTE LA INT... #70095 Viene de mi biblioteca	86%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #000;"></div>	Palabras idénticas: 86% (24.696 palabras)
3	TT DESALINIZACIÓN PARA POTABILIZAR AGUA DE MAR ZAVALA Y END... #31427 Viene de mi biblioteca	58%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #000;"></div>	Palabras idénticas: 58% (16.672 palabras)
4	TT DESALINIZACIÓN PARA POTABILIZAR AGUA DE MAR ZAVALA Y END... #70078 Viene de mi biblioteca	16%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #000;"></div>	Palabras idénticas: 16% (4.605 palabras)

**Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)** Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	<a href="https://www.fibraynornasdecolombia.com/">https://www.fibraynornasdecolombia.com/</a>
---	---

f. 

Ing. Gilberto Martínez Rehpani, M.S

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que han sido parte esencial en mi vida y en este camino académico, pues sin su apoyo, sus consejos y su amor, este logro no habría sido posible.

A mis padres, Tnlgo. Arturo Zavala y a la Ing. Paola Macías, por haber sido mi mayor inspiración y fortaleza, brindándome siempre su apoyo moral y económico a lo largo de mi carrera. Gracias por su esfuerzo incondicional, por creer en mí y por ser el pilar sobre el cual he construido este sueño.

A mi hermana, Abg. Paola Victoria Zavala, quien, aunque hoy se encuentre en el cielo, la siento presente en cada paso que doy. Ella ha sido mi guía en las decisiones más importantes, mi ángel de la guarda y mi motivación constante para seguir adelante. A pesar de los penosos acontecimientos, siento que me han ayudado a madurar y a convertirme en una mejor persona.

A mi tía, María Victoria Zavala, quien ha sido como una segunda madre. Sus consejos, correcciones, enseñanzas y valores me han acompañado en todo momento y me han servido de guía para convertirme en la persona y profesional que soy hoy. Le agradezco por haberse involucrado en mi vida estos últimos años; ha sido lo mejor que me ha podido pasar.

A mi abuela materna, Lcda. Magdalena Macías, quien siempre estuvo conmigo durante mi preparación académica, acompañándome con sabios consejos y representándome con orgullo en mi etapa colegial. Su cariño y apoyo han sido fundamentales en mi vida.

A mi abuela paterna, Eva Victoria Orlando, quien, a pesar de la distancia física, siempre se mantuvo presente, preocupándose por mí y acompañándome tanto en los momentos difíciles como en los felices. Ha sido un pilar fundamental de fortaleza moral y sentimental.

Finalmente, a mi tío, Ing. Javier Macías, quien ha sido como un segundo padre, brindándome su apoyo incondicional. Sus enseñanzas y consejos me ayudaron a mantenerme firme en mi propósito de alcanzar este logro.

**José Arturo Zavala Macías**

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fortaleza, la perseverancia y la salud necesaria para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mi familia, pilar fundamental de mi existencia, dedico este logro con todo mi corazón.

A mis padres, Francisco y Paulina, quienes, con su esfuerzo, consejos y amor incondicional, me han enseñado el valor del sacrificio y la disciplina.

A mi hermana, Samantha, por ser siempre mi apoyo y motivación.

De manera muy especial, a mi tía, a quien con cariño llamo “mami Mayra”, por ser una segunda madre y por brindarme siempre su ternura, sus palabras de aliento y su confianza en mí.

A mis abuelitos, “Chin” y “Rosi”, quienes han sido ejemplo de sabiduría, perseverancia y esfuerzo; gracias por transmitirme valores que hoy forman parte esencial de quien soy.

A mi prima, Gaby, por estar siempre presente con su apoyo, su alegría y su paciencia, que me acompañaron en los momentos más exigentes de este camino.

Y a esa persona especial que me acompañó en este trayecto, quiero agradecerle por su paciencia, comprensión y compañía constante, que hicieron de este proceso una experiencia más llevadera y significativa.

Este triunfo es fruto del amor y respaldo que me han brindado cada uno de ellos. En mi camino a convertirme en ingeniero civil, reconozco que este logro no es solo personal, sino también familiar, porque ha sido posible gracias a la unión, la fe y el acompañamiento constante de las personas que más amo.

Por último, extiendo mi gratitud a mis docentes y compañeros de la universidad, quienes me acompañaron en este proceso de formación, dejando huellas imborrables en mi crecimiento profesional y humano.

Luis Francisco Endara Molina

## **DEDICATORIA**

La elaboración de este trabajo se la dedicamos a Dios, por permitirnos llegar a obtener nuestro título universitario; a nuestros padres, que han sido nuestro motor principal de fortaleza y dedicación, y por el apoyo incondicional que nos brindaron, logrando despertar en nosotros el gusto por la carrera.

En el transcurso de este camino nos encontramos con muchas personas de quienes recibimos experiencias y conocimientos; a nuestros amigos profesionales, que de alguna u otra manera nos inspiraron a cumplir nuestra meta de ser ingenieros civiles.

Y a todos aquellos que nos vieron luchar para lograr obtener nuestro título universitario en la Universidad Católica Santiago de Guayaquil.

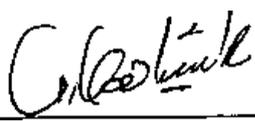
José Arturo Zavala Macías

Luis Francisco Endara Molina



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.  \_\_\_\_\_

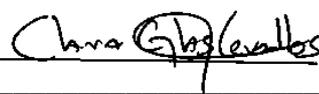
**Ing. Gilberto Martínez Rehpani, M.Sc.**

TUTOR

f.  \_\_\_\_\_

**ING. Alcívar Bastidas, Stefany, M.Sc.**

DIRECTORA DE CARRERA

f.  \_\_\_\_\_

**ING. Clara Glas Cevallos, M.Sc.**

DOCENTE DE LA CARRERA

f.  \_\_\_\_\_

**ING. Alexandra Camacho Monar, Ph.D.**

OPONENTE

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
1.1	Antecedentes	2
1.2	Justificación del Estudio	3
1.3	Objetivos de la Investigación	4
1.3.1	Objetivo General	4
1.3.2	Objetivos Específicos	5
1.4	Alcance y Delimitación	5
1.5	Relevancia de la Investigación	6
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b>	<b>8</b>
2.1	Crisis Hídrica en Jipijapa: una Problemática Estructural y Persistente	8
2.2	Desalinización del Agua de Mar: Principios, Tecnologías y Eficiencia	9
2.3	Productos derivados de la salmuera	10
2.4	Comparación de Ventajas y Desventajas de las Tecnologías Principales de Desalinización:	11
2.5	Energía Geotérmica: Fundamentos, Beneficios y Potencial en Ecuador	12
2.6	Viabilidad de Implementación en Jipijapa	15
2.7	Lecciones Aprendidas de Experiencias Internacionales sobre Desalinización con Energías Renovables	15
2.8	Análisis Comparativo Internacional de Casos Similares	21
2.9	Principales Países que Utilizan Geotermia en el Mundo en 2024	22
2.9.1	Estados Unidos: 3900 MW	22
2.9.2	Indonesia: 2418 MW	23
2.9.3	Filipinas: 1952 MW	24
2.9.4	Turkiye: 1691 MW	26
2.9.5	Nueva Zelanda: 1042 MW	28
2.9.6	Kenia: 985 MW	29
2.9.7	México: 976 MW	31
2.9.8	Italia: 916 MW	33
2.9.9	Islandia: 754 MW	33
2.9.10	Japón: 576 MW	35

2.10 Países con Mayor Porcentaje de Desalinización de Agua.....	37
2.10.1 Israel: 585 Millones de Metros Cúbicos de Agua Desalinizada al Año..	37
2.10.2 Arabia Saudita: 3540 Millones de Metros Cúbicos al Año.....	37
2.10.3 Emiratos Árabes Unidos: 813 220 millones de Metros Cúbicos al Año.	38
2.10.4 Australia: 45.000.000 Millones de Metros Cúbicos al Año.....	38
2.11 Normativa y Marco Legal Ecuatoriano en Desalinización y Energías Renovables .....	40
2.12 Energía Geotérmica en Ecuador: Estado Actual y Políticas de Fomento .....	41
2.13 Desafíos Técnicos y Riesgos Operativos .....	44
2.14 Riesgos Asociados al Manejo de Energía Geotérmica.....	45
2.14.1 Medidas de Mitigación y Diseño Resiliente .....	46
2.14.2 Pretratamiento del Agua de Mar .....	46
2.14.3 Selección de Materiales Resistentes a la Corrosión .....	46
2.14.4 Implementación de Protocolos de Limpieza Periódica.....	46
2.14.5 Instalación de Válvulas de Seguridad y Sensores Multigás.....	46
2.14.6 Diseño modular y Escalable del Sistema de Desalinización.....	47
2.14.7 Reinyección Controlada de Fluidos Geotérmicos Enfriados .....	47
2.14.8 Simulación y Modelado Termodinámico Previo a la Implementación...	47
<b>3    CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>48</b>
3.1 Enfoque Metodológico.....	48
3.2 Definición del Agua .....	48
3.3 Densidad del Agua .....	49
3.4 Distribución de Materiales en la Tierra.....	49
3.4.1 Desalinización.....	51
3.4.2 Destilación.....	52
3.4.3 Congelación.....	53
3.4.4 Electrodiálisis .....	54
3.4.5 Ósmosis Inversa .....	55
3.5 Contaminantes en el Agua.....	56
3.6 Enfermedades Infecciosas Transmitidas por el Agua .....	56
3.6.1 Hepatitis A.....	56
3.6.2 Cólera	57

3.6.3	Diarrea Infecciosa .....	57
3.6.4	Leptospirosis .....	58
3.6.5	Esquistosomiasis .....	58
3.6.6	Otitis Externa.....	58
3.7	Diferentes Tipos de Energías .....	59
3.7.1	Energía Eólica .....	60
3.7.2	Energía Solar .....	60
3.7.3	Biomasa.....	61
3.7.4	Biogás	62
3.7.5	Biocombustibles .....	63
3.7.6	Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos.....	63
3.7.7	Energía Hidroeléctrica.....	64
3.7.8	Geotermia .....	65
3.7.9	Energías Contaminantes.....	65
3.7.10	Carbón	66
3.7.11	Dióxido de Carbono .....	66
3.7.12	Principales Países Productores de Carbón .....	66
3.7.13	Aplicaciones del Carbón .....	66
3.7.14	Petróleo.....	67
3.7.15	Principales Características del Petróleo .....	68
3.7.16	Gas Natural.....	69
3.7.17	Aplicaciones del Gas Natural .....	69
3.7.18	Energía Nuclear.....	71
3.8	Manifestaciones Superficiales.....	72
3.9	Indicadores de Energía Geotérmica .....	73
3.10	Geotermia y su Utilización “En Cascada” .....	76
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE DATOS ESTADÍSTICOS .....</b>	<b>81</b>
4.1	Contexto General de la Provincia de Manabí.....	81
4.1.1	Población de Acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censos	82
4.1.2	Clima	83
4.2	Datos Relevantes .....	83

4.3 Problemas con el Agua.....	84
4.4 Enfoque en el Cantón Jipijapa.....	84
4.4.1 Población.....	85
4.4.2 Clima	85
4.4.3 Datos Relevantes.....	85
4.4.4 Problemas con el Agua.....	86
4.5 Análisis de la Problemática Hídrica en Jipijapa.....	86
4.6 Justificación para la Desalinización con Energía Geotérmica .....	87
4.7 Contaminación del Agua de Manabí.....	87
4.8 Influencia del Agua para Manabí.....	88
4.9 Ausencia de Agua Potable en la Provincia de Manabí: una Problemática Estructural .....	89
4.9.1 Dificultades para Obtener Agua en Manabí.....	90
4.9.2 Costo por el Tratamiento de Agua para Potabilizarla .....	90
4.10 Crecimiento Demográfico en la Provincia de Manabí.....	91
4.11 Provincias y Cantones que Poseen Agua Salada de Ecuador.....	92
4.11.1 Provincias con Presencia de Agua Salada.....	92
4.11.2 Esmeraldas .....	92
4.11.3 Manabí	92
4.11.4 Santa Elena.....	93
4.11.5 Guayas	93
4.11.6 El Oro	93
4.11.7 Galápagos .....	93
4.12 Tipos de Cuerpos de Agua Salada.....	93
4.13 Relevancia Ecológica y Económica .....	94
4.14 Retos y Amenazas .....	94
4.15 Volcán Chocotete: Caracterización Geológica, Ecológica y Sociocultural de un Volcán Inactivo en la Costa Ecuatoriana .....	95
4.16 La Cordillera de Carnegie y su Influencia en el Potencial Geotérmico del Ecuador .....	97
4.16.1 Origen y Evolución de la Cordillera de Carnegie .....	97
4.17 Subducción y Efectos sobre la Tectónica Regional .....	99

4.18 Flujo de Calor y Formación de Sistemas Geotérmicos .....	101
4.19 Áreas Potenciales de Explotación Geotérmica.....	102
<b>5 CAPÍTULO V. PROYECTO DE PLANTA DESALINIZADORA EN JIPIJAPA .....</b>	<b>105</b>
5.1 Descripción General del Proyecto.....	105
5.2 Diseño Conceptual de la Planta.....	114
5.3 Modelos Esquemáticos de la Propuesta de la Planta Desalinizadora Alimentada con Energía Geotérmica .....	115
<b>6 CAPÍTULO VI. RESULTADOS OBTENIDOS .....</b>	<b>127</b>
6.1 Análisis Comparativo de Casos Internacionales Adaptados al Contexto Ecuatoriano .....	127
6.2 Caracterización del Potencial Geotérmico en Jipijapa .....	128
6.3 Selección de la Tecnología de Desalinización Óptima para Ecuador .....	129
6.4 Impacto Multidimensional en Jipijapa y Ecuador .....	130
<b>7 CAPÍTULO VII. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>131</b>
7.1 Conclusión.....	131
7.2 Recomendaciones.....	132
<b>8 BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>134</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Ventajas y desventajas de las tecnologías principales de desalinización....	11
<b>Tabla 2</b>	<i>Caso 1 de desalinización con energías renovables</i> .....	15
<b>Tabla 3</b>	<i>Caso 2 de desalinización con energías renovables</i> .....	18
<b>Tabla 4</b>	<i>Caso 3 de desalinización con energías renovables</i> .....	20
<b>Tabla 5</b>	<i>Comparativo de los tres casos de desalinización con energías renovables</i>	21
<b>Tabla 6</b>	<i>Cantidad de metros cúbicos desalinizados al año</i> .....	39
<b>Tabla 7</b>	<i>Comparación de tecnologías de desalinización por tipo de energía: convencional vs. geotérmica</i> .....	47
<b>Tabla 8</b>	<i>Densidad del agua</i> .....	49
<b>Tabla 9</b>	<i>Distribución de materiales en la Tierra</i> .....	49
<b>Tabla 10</b>	<i>Proporcionalidad del agua</i> .....	51
<b>Tabla 11</b>	<i>Bacterias, virus y parásitos</i> .....	57
<b>Tabla 12</b>	<i>Aplicaciones del carbón</i> .....	66
<b>Tabla 13</b>	<i>Ventajas e inconvenientes del uso del carbón como energía</i> .....	67
<b>Tabla 14</b>	<i>Propiedades del petróleo</i> .....	68
<b>Tabla 15</b>	<i>Ventajas e inconvenientes del petróleo como energía</i> .....	69
<b>Tabla 16</b>	<i>Aplicaciones del gas natural</i> .....	70
<b>Tabla 17</b>	<i>Ventajas e inconvenientes del uso de gas natural</i> .....	70
<b>Tabla 18</b>	<i>Población de Manabí</i> .....	82
<b>Tabla 19</b>	<i>Datos poblacionales</i> .....	85
<b>Tabla 20</b>	<i>Costo por tratamiento</i> .....	90
<b>Tabla 21</b>	<i>Proyectos geotérmicos</i> .....	103

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Planta geotérmica del Reykjanes</i> .....	17
<b>Figura 3</b> <i>Proyecto geotérmico de Olkaria</i> .....	21
<b>Figura 5</b> <i>Porcentaje de producción en EE. UU.</i> .....	23
<b>Figura 6</b> <i>Porcentaje de producción en Indonesia</i> .....	24
<b>Figura 11</b> <i>Cantidad de MW generados en Islandia</i> .....	34
<b>Figura 12</b> <i>Cantidad de MW generados en Japón</i> .....	36
<b>Figura 19</b> <i>Molinos de viento</i> .....	60
<b>Figura 20</b> <i>Paneles solares</i> .....	61
<b>Figura 21</b> <i>Esquematización de biomasa</i> .....	62
<b>Figura 22</b> <i>Instalaciones de biogás</i> .....	63
<b>Figura 23</b> <i>Pequeños aprovechamientos hídricos</i> .....	64
<b>Figura 24</b> <i>Hidroeléctrica</i> .....	65
<b>Figura 25</b> <i>Esquematización de la fisión nuclear</i> .....	71
<b>Figura 26</b> <i>Corteza, manto y núcleo de la Tierra</i> .....	72
<b>Figura 27</b> <i>Volcanes activos</i> .....	73
<b>Figura 28</b> <i>Alteraciones hidrotermales en las rocas</i> .....	74
<b>Figura 29</b> <i>Emisiones de gases y vapor</i> .....	75
<b>Figura 30</b> <i>Fuentes termales y minerales</i> .....	76
<b>Figura 31</b> <i>Zonas del mundo con recursos geotérmicos accesibles</i> .....	78
<b>Figura 32</b> <i>Ubicación de algunas fuentes termales conocidas en Ecuador</i> .....	80
<b>Figura 33</b> <i>Manabí y sus divisiones geográficas</i> .....	82
<b>Figura 34</b> <i>Cordillera de Carnegie</i> .....	99
<b>Figura 35</b> <i>Relieve topográfico, Cordillera de Carnegie en dos dimensiones</i> .....	100
<b>Figura 36</b> <i>Relieve topográfico, Cordillera de Carnegie en tres dimensiones</i> .....	101
<b>Figura 37</b> <i>Mapa de gradiente térmico en Ecuador</i> .....	102
<b>Figura 38</b> <i>Planta geotérmica en Palayán, Filipinas</i> .....	104
<b>Figura 39</b> <i>Ubicación geográfica del proyecto</i> .....	105
<b>Figura 40</b> <i>Propuesta para la planta desalinizadora y geotérmica</i> .....	106
<b>Figura 41</b> <i>Propuesta de ubicación de planta desalinizadora y geotérmica vista</i> ..	107
<b>Figura 42</b> <i>Línea de tubería</i> .....	110

<b>Figura 43</b> <i>Volcán Chocotete</i> .....	111
<b>Figura 44</b> <i>Pueblo de Joa</i> .....	112
<b>Figura 45</b> <i>Pueblo Andíl</i> .....	113
<b>Figura 46</b> <i>Pueblo de Choconchá</i> .....	114
<b>Figura 47</b> <i>Modelo esquemático de la planta</i> .....	116
<b>Figura 48</b> <i>Interior de los pozos</i> .....	117
<b>Figura 49</b> <i>Visita de corte del proyecto</i> .....	118
<b>Figura 50</b> <i>Visita de corte del proyecto</i> .....	119
<b>Figura 51</b> <i>Tanques de almacenamiento</i> .....	120
<b>Figura 52</b> <i>Paneles para el proceso eléctrico</i> .....	121
<b>Figura 53</b> <i>Turbina del sistema</i> .....	122
<b>Figura 54</b> <i>Línea de tubería</i> .....	123
<b>Figura 55</b> <i>Línea de tubería</i> .....	124
<b>Figura 56</b> <i>Vista superior de la planta desalinizadora</i> .....	125
<b>Figura 57</b> <i>Planta desalinizadora a base de energía geotérmica y solar</i> .....	126

## RESUMEN

La presente investigación se centra en el desarrollo de un sistema sostenible para desalinizar el agua de mar mediante el aprovechamiento de la energía geotérmica en el cantón Jipijapa, ubicado en la provincia de Manabí, Ecuador. Este proyecto surge como respuesta a la grave escasez de agua potable que enfrenta la población local, ocasionada por la falta de lluvia, la salinización de los acuíferos y la infraestructura limitada para el suministro de agua. El acceso garantizado al agua potable en Jipijapa no constituye únicamente un desafío técnico, sino también un problema estructural con un impacto directo en la salud, la sociedad y la economía local.

La propuesta se enfoca en el uso de fuentes geotérmicas naturales presentes en el cantón, como Andil, Choconchá y Joa, los cuales ofrecen tanto la temperatura como la cantidad adecuada de agua para alimentar procesos de destilación térmica. Esta tecnología de desalinización resulta más eficiente y permite tratar el agua de mar de manera sostenible y efectiva. Asimismo, el uso del calor geotérmico como fuente de energía garantiza un funcionamiento constante, independientemente de las condiciones climáticas, y con bajas emisiones de carbono, lo que representa un aporte relevante en la lucha contra el cambio climático. La metodología de investigación contempla varias etapas principales. En primer lugar, se realiza un análisis comparativo de casos exitosos en otros países, con el fin de comprender cómo se han implementado sistemas similares. En segundo lugar, se estudian las características del potencial geotérmico local en el cantón Jipijapa, evaluando tanto las condiciones técnicas como la viabilidad financiera de las tecnologías de desalinización disponibles. En tercer lugar, se desarrolla un programa de sistema de prueba preliminar específicamente adaptado a las necesidades y condiciones del cantón. En cuarto lugar, se analiza el impacto social, ambiental y económico que este sistema podría generar, considerando beneficios como la mejora de la salud pública, la creación de empleos, el impulso al sector agrícola, el fortalecimiento de la resistencia pública frente a eventos climáticos extremos y el incremento del turismo.

**Palabras clave:** desalinización, energía geotérmica, sostenibilidad, escasez hídrica, ambiental.

## ABSTRACT

My study focuses on the development of a sustainable system for desalinating seawater, utilizing the benefits of geothermal energy in the Jipijapa Canton, located in the province of Manabí, Ecuador. This project was born in response to the severe lack of drinking water faced by the local population, caused by a lack of rainfall, salinization of aquifers, and limited water supply infrastructure. Access to safe drinking water in the Jipijapa region is not only a technical challenge but also a structural problem with a direct impact on health, society, and the local economy.

My recommendation focuses on the use of natural geothermal sources in the canton, such as Andil, Choconchá, and Joa, which provide the appropriate temperature and quantity of water to fuel thermal distillation processes. This desalination technology is more efficient and allows for sustainable and effective treatment of seawater. The use of geothermal heat as an energy source ensures constant operation, independent of weather and with low carbon emissions, which is important to help combat climate change.

My research methodology includes several main stages. First, we conducted a comparative analysis of successful cases in other countries to understand how similar systems have been implemented. We also studied the characteristics of the local geothermal potential in the Jipijapa canton, evaluating both the technical and financial conditions of available desalination technologies. In addition, we developed a preliminary testing system program specifically tailored to the needs and conditions of the canton. Second, we analyzed the social, environmental, and economic impact that this system should have, taking into account benefits such as improved public health, job creation, a boost to the agricultural sector, public resilience to extreme weather events, and increased tourism.

Finally, combining desalination with geothermal energy is an innovative, practical, and environmentally friendly solution for providing access to drinking water in vulnerable coastal areas.

**Keywords:** desalination, geothermal energy, sustainability, water scarcity, environment

## CAPÍTULO I.

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Antecedentes

El agua es un recurso esencial para la vida, puesto que sustenta los ecosistemas, la salud humana y el desarrollo social y económico. Sin embargo, en muchas partes del mundo, especialmente en áreas costeras como el cantón Jipijapa, garantizar el acceso a agua potable segura sigue siendo uno de los principales desafíos. Factores como el crecimiento poblacional, el cambio climático y las alteraciones ambientales aumentan la deficiencia de agua dulce y exigen soluciones sostenibles lo antes posible.

En la provincia costera de Manabí, particularmente en el cantón Jipijapa, Ecuador, la falta de acceso a agua potable constituye un problema crítico. La escasez de lluvias, la salinización de los acuíferos y la limitada infraestructura para el abastecimiento de agua hacen que la situación sea aún más difícil. Este problema no solo representa un reto técnico, sino también estructural, puesto que impacta mucho en la vida diaria, la economía y la salud de la población (Primicias, 2025). En este contexto, las comunidades dependen principalmente de fuentes de agua subterráneas y superficiales afectadas por la intrusión salina y la sobreexplotación. De acuerdo con los estudios locales, la disminución de la lluvia ha intensificado los efectos del cambio climático, reduciendo drásticamente la disponibilidad de agua dulce y poniendo en riesgo la seguridad hídrica de la población (Morejón-Santistevan y Soledisparrales, 2025).

Adicionalmente, la infraestructura actual de suministro de agua potable en Jipijapa resulta insuficiente, con antiguos sistemas de distribución y una cobertura limitada que no llega adecuadamente a las áreas rurales. Esta crisis hídrica afecta directamente la calidad de vida, con consecuencias sobre la salud de las personas, la producción de cultivos y el crecimiento económico en la región. En este escenario, la desalinización del agua de mar representa una solución práctica para enfrentar la escasez de agua en las zonas costeras, como Jipijapa. Sin embargo, los métodos de desalinización tradicionales, como la ósmosis inversa o la destilación térmica, requieren mucha energía y, a menudo, dependen de los combustibles fósiles. Esto no

solo incrementa los costos operativos, sino que también tiene un impacto ambiental significativo (Nolivos et al., 2015).

Para superar estas restricciones, se recomienda integrar fuentes de energía renovables, como la geotérmica, que permiten optimizar de manera sostenible los sistemas de desalinización. Esta solución contribuye a reducir la huella de carbono y garantiza un funcionamiento continuo, dependiendo de las condiciones climáticas presentes en el área. En Jipijapa, el potencial geotérmico es notable gracias a la existencia de fuentes naturales como Andil, Choconchá y Joa, que presentan temperaturas y caudales adecuados para ser aprovechados en los procesos de destilación térmica (Aguirre, 2020).

La energía geotérmica se destaca por tener un impacto ambiental reducido y estable, lo que la convierte en una alternativa innovadora para fortalecer los sistemas de desalinización en regiones que disponen de este recurso. Este enfoque busca no solo resolver la escasez de agua, sino también vincularse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 6, que promueve el acceso a agua limpia y saneamiento, y el ODS 7, que fomenta el uso de energía accesible y eficiente. Asimismo, se alinea con la política nacional de Ecuador para impulsar la transición energética y garantizar la soberanía del agua.

## **1.2 Justificación del Estudio**

En coherencia con lo anterior, es urgente introducir un sistema sostenible de desalinización mediante energía geotérmica en Jipijapa, dado que se trata de un problema complejo que combina dimensiones técnicas, sociales, económicas y ambientales. Desde un punto de vista técnico, esta propuesta integra el aprovechamiento de la energía geotérmica con procesos de desalinización, conformando una solución eficiente y respetuosa con el entorno, que se beneficia de los recursos locales para garantizar el suministro continuo de agua potable. A diferencia de otras fuentes renovables, como el sol o el viento, que tienden a variar con las condiciones climáticas, la energía geotérmica ofrece una fuente constante de calor, ideal para los procesos de desalinización (Pérez y Torres, 2016).

En lo social, la falta de agua potable en Jipijapa afecta directamente la salud de las personas, puesto que incrementa la incidencia de enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada o con alto contenido de sal. En este marco, la escasez de agua limita las oportunidades económicas, especialmente en la agricultura, que constituye la principal fuente de ingresos para las comunidades del territorio. Por esta razón, la implementación de un sistema de desalinización que utilice energía geotérmica mejora no solo la calidad de vida, sino también la generación de empleo y fortalece la resiliencia de la población frente a eventos climáticos extremos, como las sequías prolongadas.

Desde el punto de vista económico, la introducción de tecnologías sostenibles en el suministro de agua potable constituye una alternativa estratégica, dado que reduce los costos asociados a la importación de recursos o al uso de fuentes de energía convencionales que no son renovables. El modelo propuesto tiene el potencial de replicarse en otras zonas costeras de Ecuador, lo que apoyaría el desarrollo territorial y, al mismo tiempo, fortalecería la soberanía del agua nacional, garantizando el acceso sostenible y seguro al recurso.

Finalmente, desde la perspectiva ambiental, el uso de energía geotérmica permite reducir significativamente las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) y, por lo tanto, contribuir al cumplimiento de los compromisos de Ecuador adoptados para reducir el cambio climático (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables., 2021).

### **1.3 Objetivos de la Investigación**

#### ***1.3.1 Objetivo General***

Desarrollar una propuesta técnica para un sistema sustentable de desalinización de agua de mar mediante la integración de tecnología geotérmica en Jipijapa, Ecuador, con el fin de mejorar el acceso al agua potable en la región y promover el uso eficiente de los recursos renovables.

### **1.3.2 *Objetivos Específicos***

- a. Describir, a nivel mundial, tres casos de plantas de desalinización del agua de mar alimentadas con energía geotérmica, indicando para cada caso el proceso utilizado, ya sea por ósmosis inversa o por destilación térmica, así como sus ventajas.
- b. Analizar las condiciones geotérmicas y la disponibilidad de recursos en Jipijapa mediante la implementación de sistemas de energía geotérmica, considerando los pozos de agua azufrada de Andil, Choconchá y Joa, los cuales provienen de vertientes subterráneas del volcán Chocotete, en la cordillera Chongón-Colonche.
- c. Determinar la tecnología de desalinización más adecuada para ser alimentada con fuentes geotérmicas locales, evaluando criterios de eficiencia, escalabilidad y compatibilidad térmica.
- d. Sistematizar, de manera esquemática y gráfica, la propuesta innovadora para implantar un proceso de desalinización de agua de mar que optimice el uso de energía geotérmica como fuente principal en Jipijapa.
- e. Evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la integración de tecnologías de energía geotérmica y de desalinización de agua de mar en el contexto local, incluyendo el proceso a utilizar: ósmosis inversa o destilación térmica.

### **1.4 Alcance y Delimitación**

El presente estudio se orienta al desarrollo de un diseño conceptual y a la evaluación de un sistema de desalinización de agua de mar, utilizando la energía geotérmica como fuente principal, con el propósito de garantizar el suministro de agua potable en el cantón Jipijapa. El estudio incluye el análisis del potencial geotérmico existente en el área, la selección de las tecnologías de desalinización más apropiadas, así como la evaluación técnica y financiera del proyecto, considerando el impacto multidimensional que generaría la introducción del sistema propuesto.

El estudio se realizó en el cantón de Jipijapa y toma como referencia las fuentes geotérmicas de Andil, Choconchá y Joa. En cuanto al periodo de ejecución, se llevó a

cabo entre 2024 y 2025, utilizando la información disponible hasta agosto de 2025. Cabe destacar que no se contempló la implementación física del sistema, dado que el trabajo se enfocó en su diseño conceptual, el modelado y la evaluación de la viabilidad. Además, el análisis económico se fundamentó en estimaciones iniciales, sin considerar los costos de infraestructuras secundarias, como las redes de distribución. Finalmente, el enfoque técnico de la investigación se centró en la integración de procesos de desalinización, particularmente ósmosis inversa o destilación térmica.

## **1.5 Relevancia de la Investigación**

Este estudio tiene un impacto tanto a nivel local como global. En el caso particular de Jipijapa, responde a un problema crítico de acceso a agua potable, una situación que afecta directamente el desarrollo humano y ralentiza el crecimiento económico en el área. Al proponer una solución basada en el uso de recursos locales, como la energía geotérmica, el estudio contribuye a fortalecer la autoconciencia y a promover la sostenibilidad en la región. En el ámbito global, la integración de fuentes geotérmicas contribuye a la promoción del conocimiento científico de las tecnologías sostenibles para la gestión de los recursos hídricos, y puede convertirse en un modelo replicable en otras áreas costeras con condiciones similares.

Desde la perspectiva de la ingeniería, este estudio aporta al desarrollo de sistemas innovadores de infraestructura de agua, integrando criterios de sostenibilidad, eficiencia energética y resistencia al cambio climático. Al mismo tiempo, el proyecto mantiene coherencia con las prioridades de desarrollo ecuatoriano, al estar enmarcado en la Estrategia Nacional de Cambio Climático y en el Plan Nacional de Desarrollo (PND), además de alinearse con los ODS asumidos por el Estado en sus compromisos internacionales.

En este caso, es fundamental destacar que no existen estudios geotécnicos, por lo que el análisis se sustenta en datos de temperatura, corrientes superficiales e información documental histórica. Para llevar a cabo la implementación del sistema será indispensable realizar perforaciones exploratorias, debidamente autorizadas por las instituciones técnicas competentes. El modelo propuesto se plantea a una escala piloto o demostrativa, con el fin de evaluar los volúmenes de producción, así como las inversiones y estimaciones de actividad, respondiendo únicamente a esta cantidad.

Para su ampliación será necesario desarrollar un estudio adicional con un nivel técnico más detallado, orientado a una escala mayor.

El trabajo actual no contempla una investigación completa de impacto ambiental; sin embargo, establece lineamientos generales para la gestión sostenible, incluyendo medidas de mitigación y alternativas a la destrucción y utilización de la salmuera. Para una eventual ejecución del proyecto, será obligatorio realizar un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) conforme a la normativa vigente. A pesar de estas limitaciones, el estudio constituye una base técnica, conceptual y territorial consistente, que puede servir como fundamento para el desarrollo de soluciones innovadoras destinadas a subsanar la escasez de agua en las zonas costeras del país.

## **CAPÍTULO II.**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Crisis Hídrica en Jipijapa: una Problemática Estructural y Persistente**

El cantón Jipijapa, ubicado en la provincia de la costa de Manabí, Ecuador, atraviesa una crisis crónica de agua originada por diversos factores estructurales. Entre ellos se destacan la variabilidad del régimen lluvioso, la degradación progresiva de las fuentes de agua, las deficiencias en la infraestructura de recolección y distribución, junto con el aumento permanente de la población, configurando un escenario crítico que afecta directamente la calidad de vida de los habitantes (Gobierno Autónomo Descentralizado de Jipijapa, 2024).

En las últimas décadas, esta crisis ha aumentado debido al cambio climático y a la insuficiente inversión a largo plazo en el sistema de agua potable. En 2024, el Comité de Operaciones de Emergencia de Jipijapa declaró en emergencia el servicio de abastecimiento, luego de la paralización del bombeo desde el río La Piladora, lo que dejó a más de 25 000 residentes sin acceso regular al agua potable. Este hecho evidenció la vulnerabilidad del sistema y la falta de soluciones estructurales urgentes (Gobierno Autónomo Descentralizado de Jipijapa, 2024).

Aunque el municipio ha destinado 10,5 millones de dólares de su presupuesto para ampliar el sistema, los informes técnicos advierten que se requerirán al menos \$ 35 millones de dólares en el cantón para satisfacer las necesidades generalizadas de agua y garantizar la sostenibilidad del sistema largo (Gobierno Autónomo Descentralizado de Jipijapa, 2024). Es importante enfatizar que este problema no solo limita la disponibilidad de recursos hídricos, sino que también tiene repercute directamente en el acceso a la educación, la productividad agrícola y las condiciones de salud de la población, especialmente en los sectores más vulnerables del cantón (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2018).

### **3.2 Desalinización del Agua de Mar: Principios, Tecnologías y Eficiencia**

La desalinización es un proceso tecnológico mediante el cual el agua salada, ya sea de origen marino o de acuíferos salobres, se transforma en apta para el consumo humano y para diversas aplicaciones industriales. Actualmente, este procedimiento ha adquirido gran relevancia en todo el mundo, debido al incremento en la demanda de agua potable, especialmente en áreas costeras y áridas, donde las fuentes de agua convencionales son insuficientes o presentan distintos niveles de contaminación (Panagopoulos et al., 2019).

Existen diversos métodos de desalinización, entre los cuales destacan la ósmosis inversa y la destilación térmica, por ser las técnicas más consolidadas y ampliamente utilizadas a escala global:

Ósmosis inversa: es la tecnología de desalinización más extendida en el mundo. Se basa en el uso de membranas semipermeables que, bajo la aplicación de presión, permiten separar las sales disueltas en el agua. Este proceso representa un consumo energético moderado, en el rango de 3 a 6 kWh/m<sup>3</sup> de agua tratada, y se caracteriza por su alta eficiencia.

Destilación multietapa: este método requiere altas temperaturas y se desarrolla a través de varias etapas de evaporación y condensación. Se caracteriza por su robustez operativa; sin embargo, la eficiencia se reduce cuando no está integrada con fuentes térmicas sostenibles, como la energía geotérmica.

Además de estas tecnologías consolidadas, también se han desarrollado nuevos métodos, como la electrodiálisis inversa (EDR), la nanofiltración y los sistemas híbridos que combinan diferentes fuentes de energía renovable, como el sol, el viento y el geotérmico. Estas alternativas, que actualmente se encuentran en investigación y aplicación piloto en diferentes regiones del mundo, surgen como oportunidades prometedoras para avanzar hacia procesos de desalinización más sostenibles y adaptables a diversos contextos.

Estas tecnologías tienen la capacidad de adaptarse según la fuente de energía disponible. Cuando se utiliza energía normal, la desalinización del metro cúbico de agua cuesta entre 0,60 y 1,20 dólares por metro cúbico de agua tratada. En cambio, cuando

los sistemas se integran con energía renovable, estos costos se pueden reducir a menos de 0,50 dólares por metro cúbico. La elección de la tecnología más apropiada depende de una serie de factores, entre ellos: la calidad del agua de entrada, la cantidad de producción requerida, la disponibilidad de energía y las condiciones climáticas en el área. En este sentido, resulta esencial realizar una evaluación detallada del contexto local para determinar la viabilidad técnica, económica y ambiental de cada alternativa.

### **3.3 Productos derivados de la salmuera**

La salmuera será uno de los subproductos de la planta desalinizadora de agua de mar propuesta en este trabajo, tiene muchos beneficios en la industria ya que sirve como materia prima para otros productos los cuales son mencionados a continuación:

- Sal conocida como NaCl la cual es obtenida al separar el agua de la salmuera.
- Yeso, el cual se forma al precipitar el calcio de la salmuera
- El Hidróxido de magnesio es usado en la industria química, constructiva y farmacéutica
- El carbonato de magnesio la cual tiene usos similares al hidróxido de magnesio
- Litio, el cual es clave para la fabricación de baterías
- El potasio que se puede extraer de la salmuera servirá como fertilizantes
- El bromuro y yodo son útiles en la industria farmacéutica, química y fotográfica.
- Cloro y soda cáustica obtenido mediante electrólisis de la salmuera
- Sales para deshielo, Ecuador posee la estación de invierno, la salmuera puede concentrarse y usarse en carreteras
- Fertilizantes ya que algunos necesitan el potasio y magnesio los cuales son extraídos de la salmuera y sirven para enriquecer el suelo
- El riego con salmuera diluida es usado en cultivos halófitos como salicornia, espirulina o algas marinas las cuales toleran o necesitan sal.

- Bloques de construcción ecológicos haciendo la cristalización de sales junto a los aglutinantes
- Enfriamiento industrial con el alto contenido salino para ayudar los sistemas de refrigeración
- La producción de energía osmótica cuando se aprovecha la diferencia de concentración salina con agua dulce
- Cultivo de microalgas produciendo betacarotenos y suplementos nutricionales.

### 3.4 Comparación de Ventajas y Desventajas de las Tecnologías Principales de Desalinización:

La selección de la tecnología de desalinización más adecuada depende de múltiples factores, entre ellos la disponibilidad y costo de la energía, calidad del agua de origen, la escala del proyecto y las condiciones específicas del sitio.

En términos generales, la ósmosis inversa se presenta como la solución más práctica en contextos donde existe disponibilidad estable de electricidad y se requiere una mayor flexibilidad operativa. Por su parte, la destilación térmica resulta más competitiva en escenarios donde se dispone de fuentes de calor constantes, como es el caso de la energía geotérmica (Din y Shams, 2008) (ver Tabla 1).

**Tabla 1**

Ventajas y desventajas de las tecnologías principales de desalinización

Aspecto	Ósmosis inversa	Destilación térmica
Consumo energético	Menor consumo eléctrico; mejora con recuperación de energía.	Alto consumo de energía térmica; rentable con fuentes térmicas renovables.
Calidad del agua	Alta pureza, elimina contaminantes y microorganismos.	Excelente pureza, con esterilización natural.

Costos	Costos operativos moderados; inversión variable.	Costos más altos por infraestructura y energía.
Sensibilidad	Sensible a impurezas; requiere pretratamiento.	Más tolerante a la calidad del agua.
Escalabilidad	Fácil de escalar y modular.	Adecuada para plantas grandes con acceso a calor.
Uso energético	Electricidad principalmente.	Calor principalmente.

---

*Nota.* Elaboración propia, adaptado de *Impacto ambiental y evaluación del impacto de la desalinización de agua de mar*, por S. Lattemann y T. Höpner, 2008, Desalinización, 220.

### 3.5 Energía Geotérmica: Fundamentos, Beneficios y Potencial en Ecuador

La energía geotérmica es aquella que se obtiene a partir del calor del subsuelo terrestre. Ecuador, al encontrarse sobre el Cinturón de Fuego del Pacífico, posee un potencial geotérmico considerable estimado en más de 3000 MW. Las fuentes de energía geotérmica pueden clasificarse según su entalpía:

- Alta entalpía (>150 °C): ideal para generación eléctrica.
- Media entalpía (100-150 °C): usos industriales y calefacción.
- Baja entalpía (<100 °C): aplicaciones residenciales, balneoterapia y procesos como la desalinización.

El interés por esta fuente ha crecido en el país gracias a estudios realizados en Chachimbiro, Tufiño y Chacana, donde se han identificado reservorios con potencial geotérmico de aplicación directa (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables., 2021). En la provincia de Manabí destacan las fuentes termales de Andil, Choconchá y Joa, que presentan temperaturas entre 40 °C y 70 °C, lo que las convierte en candidatas ideales para aplicaciones térmicas como la destilación múltiple por efecto.

Sinergia entre Desalinización y Energía Geotérmica: una Solución Integrada

La combinación de plantas desalinizadoras con energía geotérmica permite el desarrollo de sistemas eficientes, sostenibles y con baja huella ambiental. Las tecnologías que mejor se adaptan a esta integración son:

1. Ósmosis inversa con generación eléctrica geotérmica.
2. Destilación múltiple por efecto con calor geotérmico residual.

Esta integración tecnológica aprovecha de manera constante el calor disponible para optimizar los procesos de destilación térmica, lo que contribuye a una reducción significativa de los costos operativos, especialmente en un contexto en el que la electricidad es limitada o presenta altos costos. A diferencia de las fuentes prolongadas, como el sol o el viento, cuya generación depende de las condiciones climáticas variables, la energía geotérmica se caracteriza por su disponibilidad constante, lo que la convierte en una alternativa ideal para garantizar que los sistemas de desalinización sean permanentes.

Del mismo modo, los sistemas de desalinización pueden integrarse con la energía geotérmica desarrollada en diferentes escalas, desde iniciativas comunitarias pequeñas hasta fábricas de entrega urbana. Esta configuración modular facilita la repetición del modelo en otras áreas del país, con circunstancias similares, promoviendo el fortalecimiento del agua y la resistencia energética de la sociedad.

Además de los beneficios técnicos, esta integración representa también una oportunidad social, al contribuir a la accesibilidad de un recurso vital en comunidades históricamente marginadas, reduciendo la dependencia de infraestructuras centralizadas. De esta manera, se promueve la autonomía local y se refuerza la resiliencia de la sociedad. Este enfoque se encuentra directamente relacionado con los ODS 6, 7 y 13 (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).

#### Beneficios Ambientales y Sociales de la Integración Geotérmica-Desalinizadora

El uso de la energía geotérmica en los procesos de desalinización se presenta como una alternativa sostenible frente al uso intensivo de combustibles fósiles. Su incorporación permite una reducción significativa en las emisiones de GEI, especialmente en comparación con las tecnologías que requieren diésel o gas natural para producir calor.

Desde el punto de vista social, la disponibilidad permanente de agua potable, obtenida mediante procesos tecnológicos limpios, mejora de manera directa la calidad de vida. En contextos como el de Jipijapa, donde muchas familias deben recorrer grandes distancias o depender de camiones cisterna, este tipo de soluciones ofrece seguridad hídrica y refuerza la dignidad comunitaria. Asimismo, el aprovechamiento de fuentes térmicas locales, como las fuentes calientes de Jipijapa, disminuye la necesidad de transporte de combustible, reduciendo tanto la huella de carbono como los costos logísticos.

Además, el uso de agua de mar como insumo principal en los procesos de desalinización contribuye a la preservación de fuentes en agua dulce, muchas de las cuales actualmente se encuentran sobreexplotadas o contaminadas. Este enfoque promueve un modelo de gestión del agua más responsable, aliviando la presión sobre los ríos, pozos y acuíferos esenciales para la agricultura, la entrega urbana y los ecosistemas locales.

El acceso constante al agua potable tiene impactos directos en la vida cotidiana: permite que los niños visiten la escuela regularmente, que los pequeños fabricantes mantengan el riego con culturas sin interrupción y que los hogares dispongan de condiciones sanitarias suficientes. Es importante subrayar que la incorporación de sistemas integrados también contribuye al desarrollo de capacidades técnicas en la sociedad. La operación y el mantenimiento de estas plantas requieren educación especial, lo que impulsa la generación de oportunidades de trabajo para profesionales jóvenes y locales.

Del mismo modo, la gestión del agua se fortalece mediante la participación y reacción de CO, especialmente cuando la población interviene en el diseño, la implementación y el monitoreo del sistema. Al tratarse de proyectos con capacidad de escalar según la demanda y las condiciones ambientales, se convierten en una herramienta estratégica para reducir las imperfecciones territoriales y avanzar hacia una transición justa de agua y energía de acuerdo con los principios del desarrollo sostenible y con los ODS 6 y 7.

### 3.6 Viabilidad de Implementación en Jipijapa

Aunque todavía no existe un aprovechamiento de la energía geotérmica en Jipijapa, la presencia de fuentes calientes superficiales abre la posibilidad de implementar un sistema de prueba descentralizado. Su cercanía al mar facilita la absorción de agua salada, mientras que la situación de la crisis del agua convierte al cantón en un escenario estratégico para ensayar soluciones innovadoras de suministro sostenible.

La integración de la energía geotérmica con procesos de desalinización tiene el potencial de transformar el panorama hídrico de la región, reduciendo la dependencia de sistemas poco fiables y promoviendo la autonomía de energía y agua a nivel local.

### 3.7 Lecciones Aprendidas de Experiencias Internacionales sobre Desalinización con Energías Renovables

A nivel mundial, diversos países han desarrollado tecnologías de desalinización integradas con fuentes de energía renovable para enfrentar la escasez de agua en regiones vulnerables, especialmente en aquellas con acceso al mar y limitada infraestructura. Estas experiencias internacionales ofrecen lecciones valiosas que enriquecen la evaluación de la viabilidad técnica, social y económica de iniciativas como la propuesta para el cantón Jipijapa. A continuación, en las tablas 2, 3 y 4 se detallan tres casos representativos, así como en las figuras 1, 2 y 3.

**Tabla 2**

*Caso 1 de desalinización con energías renovables*

Islandia	Proyecto Geotérmico de Reykjanes
Ubicación	Península de Reykjanes, suroeste de Islandia.
Descripción	Islandia lidera el uso de energía geotérmica en varias áreas, como la desalinización y el tratamiento de aguas. En la región de Reykjanes, existe una planta experimental que mezcla el calor geotérmico de alta temperatura con procesos de destilación,

produciendo agua dulce para viviendas y empresas. Lo más relevante de este proyecto es que funciona de forma constante, sin necesidad de depender del tiempo atmosférico, lo que ha hecho que el impacto en el medio ambiente y los gastos energéticos sean mucho menores. Esta experiencia valida la eficiencia de la geotermia como fuente principal en zonas donde existe acceso directo al recurso térmico subterráneo.

---

Datos técnicos y económicos

---

Capacidad de la planta de 130 MW eléctricos, con una inversión estimada de US 100 millones.

Profundidad de los pozos Hasta 4626 metros, alcanzando temperaturas de hasta 450 °C.

Costo de planta de US 1,9 millones por MW.

Utilización 8000 horas por año.

Vida útil 15 años para el pozo y 25 años para la planta.

Costo anual de operación y mantenimiento 2,5 % del costo de capital.

Importancia: este proyecto evidencia el potencial de la energía geotérmica de alta entalpía para aplicaciones industriales, incluida la desalinización, y sirve como modelo para su replicación en otras regiones con recursos geotérmicos.

---

*Nota.* Arnarson y Björnsson, 2016.

**Figura 1**

*Planta geotérmica del Reykjanes*



*Nota.* Power Technology.

### Tabla 3

#### *Caso 2 de desalinización con energías renovables*

Chile	Planta Desaladora de Atacama
Ubicación	Caldera, Región de Atacama, Chile.
Descripción	<p>En el desierto de Atacama, una de las regiones más secas del planeta, se desarrolló un sistema de desalinización que combina ósmosis inversa con energía solar térmica, aprovechando la alta radiación disponible. El sistema permite almacenar calor durante el día y continuar con la producción de agua incluso durante la noche. Esto ha sido clave para abastecer a comunidades mineras y rurales, donde el transporte de agua era extremadamente costoso.</p> <p>La experiencia chilena ha demostrado que la integración entre energías renovables y tecnologías de tratamiento de agua es viable, incluso en condiciones extremas, y puede reducir hasta un 40 % los costos operativos de la planta.</p>
Datos técnicos y económicos	
Capacidad de la planta	38 880 m <sup>3</sup> /día.
Consumo energético	2,8 kWh/m <sup>3</sup> , uno de los más bajos a nivel mundial.
Ahorro energético estimado	29,1 GWh anuales.

Ahorro de costos operativos US 3,2 millones anuales.

Tecnología utilizada Ósmosis inversa con intercambiadores de presión PX Q300.

Este proyecto es un ejemplo de cómo la combinación de desalinización y energía geotérmica puede proporcionar soluciones sostenibles debido a la falta de agua en regiones áridas, reduciendo al mismo tiempo los costos operativos y la huella de carbono.

---

*Nota.* González y Bustos, 2020.

## **Figura 2**

*Planta desaladora de Chile*



*Nota.* País Circula.

**Tabla 4***Caso 3 de desalinización con energías renovables*

Kenia	Proyecto Geotérmico en Olkaria
Ubicación	Olkaria, Valle del Rift, Kenia
Descripción	En la región de Olkaria, el gobierno keniano, en colaboración con instituciones internacionales, desarrolló un sistema de desalinización comunitario basado en energía geotérmica de mediana entalpía. El objetivo fue abastecer de agua potable a comunidades rurales que anteriormente dependían de pozos salobres o agua de lluvia. La planta utiliza un sistema MED alimentado por calor residual de una planta geotérmica ya existente. La clave del éxito fue la participación comunitaria en la operación y mantenimiento del sistema, lo que aseguró la apropiación social del proyecto y su sostenibilidad a largo plazo.
Datos técnicos y económicos	
Capacidad de la planta	Más de 700 MW eléctricos en el complejo geotérmico de Olkaria.  Aplicaciones directas: calentamiento de invernaderos, secado de cultivos y desalinización de agua salobre.
Tecnología utilizada	Destilación multiefecto utilizando calor residual de las plantas geotérmicas.

Este proyecto representa un paso novedoso en África para aprovechar el calor subterráneo en beneficio del acceso al agua, alentar la seguridad hídrica en regiones vulnerables y promover el desarrollo agrícola sostenible.

*Nota.* Mutiso y Were, 2019.

### **Figura 3**

*Proyecto geotérmico de Olkaria*



*Nota.* Scientific Drilling International.

## **3.8 Análisis Comparativo Internacional de Casos Similares**

### **Tabla 5**

*Comparativo de los tres casos de desalinización con energías renovables*

País	Tecnología usada	Energía utilizada	Escala	Resultados obtenidos
Chile	Ósmosis inversa + solar.	Solar térmica.	Mediana.	Reducción del costo operativo en 40 %.

Islandia	Destilación con geotermia.	Geotérmica alta entalpía.	Industrial.	Operación continua 24/7.
Kenia	Desalinización por MED.	Geotermia baja.	Comunitaria.	Agua potable para 30 mil personas.

*Nota.* Blog Piensa en Geotermia.

### 3.9 Principales Países que Utilizan Geotermia en el Mundo en 2024

#### 3.9.1 Estados Unidos: 3900 MW

En 2023, Estados Unidos (EE. UU.) registró la operación de fábricas geotérmicas en siete estados, las cuales aportaron aproximadamente 0,4 % de la producción total de electricidad a nivel de servicios públicos, equivalente cerca de 17 mil millones de kilovatios-hora. La capacidad mínima de producción de estas plantas, consideradas de escala para servicios públicos, es de al menos 1000 kilovatios, es decir, un megavatio (ver Figura 4).

#### Figura 4

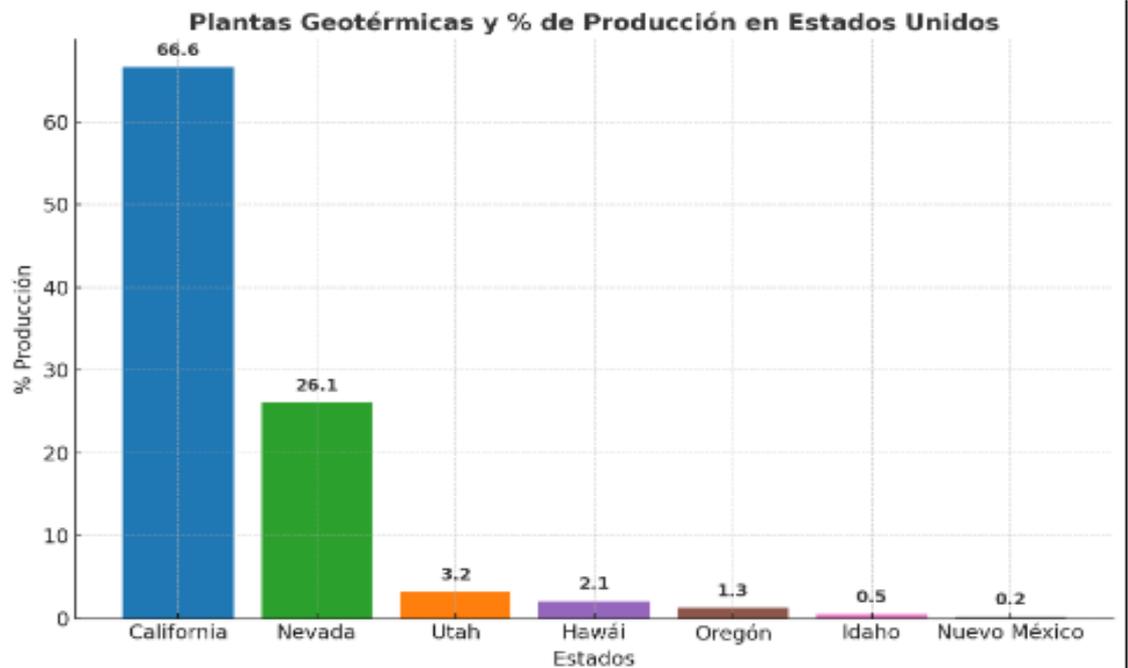
*Estados con plantas de energía geotérmica en 2023*

	Participación estatal en la generación total de electricidad geotérmica de EE. UU.	Participación de la energía geotérmica en la generación total de electricidad del estado
California	66,6%	5,1%
Nevada	26,1%	10,1%
Utah	3,2%	1,5%
Hawai	2,1%	3,7%
Oregón	1,3%	0,4%
Idaho	0,5%	0,6%
Nuevo Méjico	0,2%	0,1%

*Nota.* Administración de información energética de EE. UU., 2023.

**Figura 5**

*Porcentaje de producción en EE. UU.*



*Nota.* Elaboración propia.

### **3.9.2 Indonesia: 2418 MW**

Indonesia tiene un alto potencial geotérmico debido a su ubicación en el Anillo de Fuego del Pacífico, una región caracterizada por intensa actividad volcánica. Se estima que el país cuenta con 28,91 GW de recursos geotérmicos distribuidos en 312 áreas en todas las islas, como Java, Sumatra, Bali, Nusa Tenggara y Sulawesi. No obstante, el aprovechamiento de este recurso aún es limitado: menos del 5 % de su capacidad corresponde a aproximadamente 1533 MW de electricidad generada a través de sus fábricas geotérmicas. Entre las más destacadas se encuentran:

1. Gunung Salak – 377 MW.
2. DArajat – 270 MW.
3. Wayang Windu – 227 MW.
4. Kamojang – 235 MW.
5. Dieng – 60 MW.
6. Patuha – 55 MW.
7. ulúlela – 165 MW.

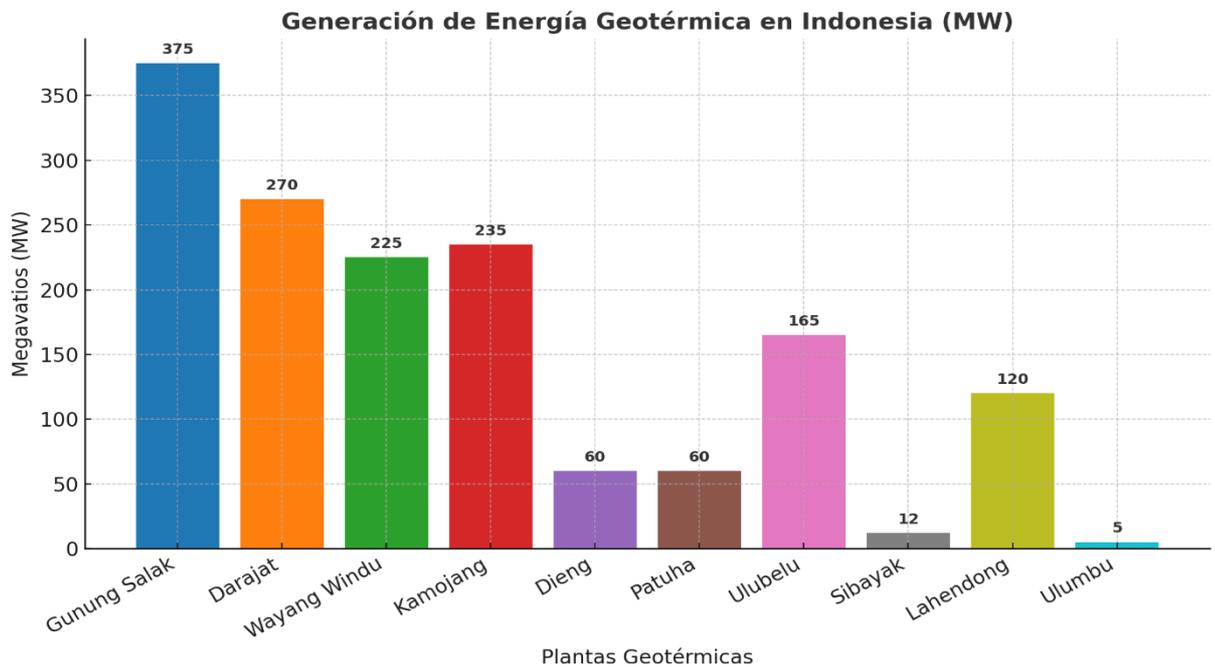
8. Sibayak – 12 MW.
9. Lahendong – 120 MW.
10. Ulumbu – 10 MW.

Indonesia mantiene planes ambiciosos para expandir sus generaciones geotérmicas. En 2005 se proyectaba alcanzar 9500 MW, aunque tras evaluaciones posteriores la meta se ajustó a 7000 MW para 2025.

En los últimos años, se incorporaron nuevas unidades a la red eléctrica: cinco unidades en Kamojang con una potencia de 35 MW; dos nuevas unidades en Lahendong ( $2 \times 20$  MW) y tres en Ulubelu. A futuro, se prevé que la entrada en operación de cinco plantas adicionales en Ulubelu, Lahendong y Sarulla (ver Figura 6).

**Figura 6**

*Porcentaje de producción en Indonesia*



*Nota.* Elaboración propia.

### 3.9.3 Filipinas: 1952 MW

Filipinas, el tercer mayor fabricante de energía geotérmica en todo el mundo, solo detrás de EE. UU. e Indonesia, comenzó a estudiar esta fuente de energía en 1962.

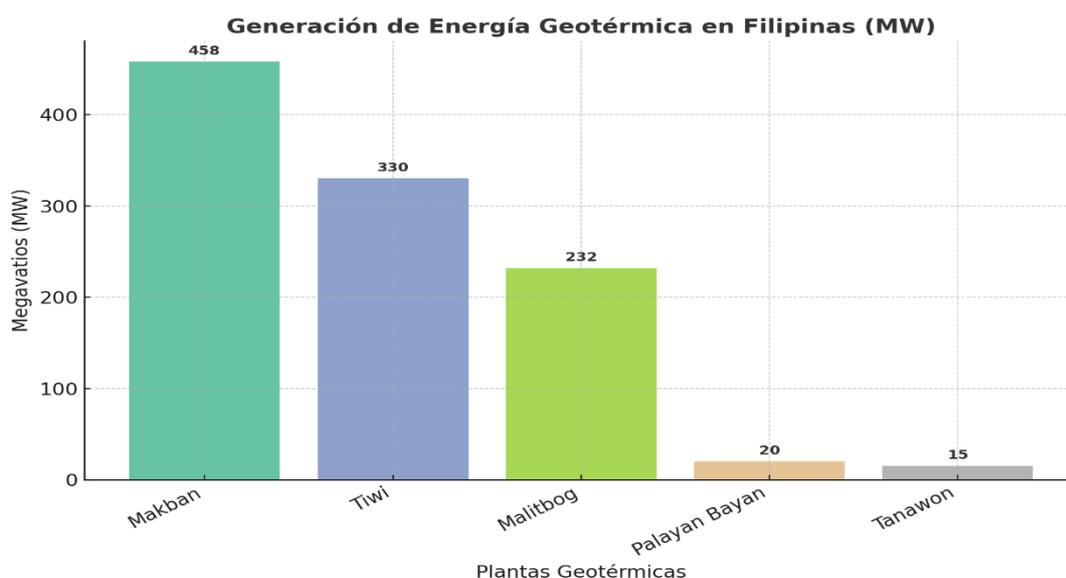
Desde 1979, el estado ha logrado lanzar una fábrica geotérmica en dos depósitos, y para 1984 ya operaban cuatro depósitos con una capacidad conjunta de 890 MWE.

Estos proyectos han sido fundamentales, puesto que cubren alrededor del 20 % de la demanda nacional de electricidad. El impulso para desarrollar esta energía surgió durante la década de 1970, durante la crisis del petróleo, cuando la necesidad de fuentes alternativas se volvió urgente. En este proceso, factores como el aumento de las necesidades energéticas, la asistencia estatal, la inversión extranjera y una combinación de recursos públicos y privados, así como el conocimiento técnico estable, fueron determinantes. Se estimaba que, a finales de 1999, la capacidad geotérmica en Filipinas podría aumentar significativamente y alcanzar entre 270 y 1100 MWE (ver Figura 7).

- Complejo geotérmico Makban genera 458 MW.
- Complejo geotérmico Tiwi genera 289 MW.
- Central geotérmica de Malitbog genera 232.5 MW.
- Central geotérmica Palayan Bayan genera 28.9 MW.
- Central geotérmica Tanawon genera 22 MW.

**Figura 7**

*Porcentaje de producción en Filipinas*



*Nota.* Elaboración propia.

### **3.9.4 Turkiye: 1691 MW**

Turquía trabaja intensamente para diversificar su energía y reducir su poderosa dependencia de los combustibles fósiles importados de Eurasia y Oriente Medio. A pesar de las restricciones naturales que enfrenta el país, la energía hidroeléctrica ha mantenido una contribución sólida en los últimos años. Esto ha motivado al gobierno a estudiar otras fuentes a largo plazo, como la eólica, la solar y la geotérmica, con el fin de fortalecer su seguridad energética.

Entre 2012 y 2018, la participación de las energías renovables en el suministro de energía primaria de Turquía aumentó del 3 % al 8 %, lo que representó un progreso significativo. En este proceso, la energía geotérmica ha jugado un papel clave y se ha establecido como una pieza básica en la transición a un sistema de energía más limpio y autosuficiente.

Con base en el análisis de la Dra. Fusun Servin Tut Haklidir, del Departamento de Sistemas de Energía de la Universidad Bilgi de Estambul, publicado en el Informe Científico de la UNESCO 2021, se destaca el notable progreso de la industria geotérmica en Turquía durante los últimos 10 años. Entre 2009 y 2019, el país alcanzó

un crecimiento significativo al pasar de solo tres plantas geotérmicas a un total de cuarenta. Este desarrollo se traduce en una capacidad instalada de aproximadamente 1,5 GW, lo que posicional país como el cuarto productor de energía geotérmica más grande en todo el mundo, solo detrás de EE. UU., Indonesia y Filipinas, según datos de la autoridad reguladora en el mercado de energía turca. Además, se perforaron más de 1000 pozos exitosamente en Anatolia occidental (Kaya, 2017).

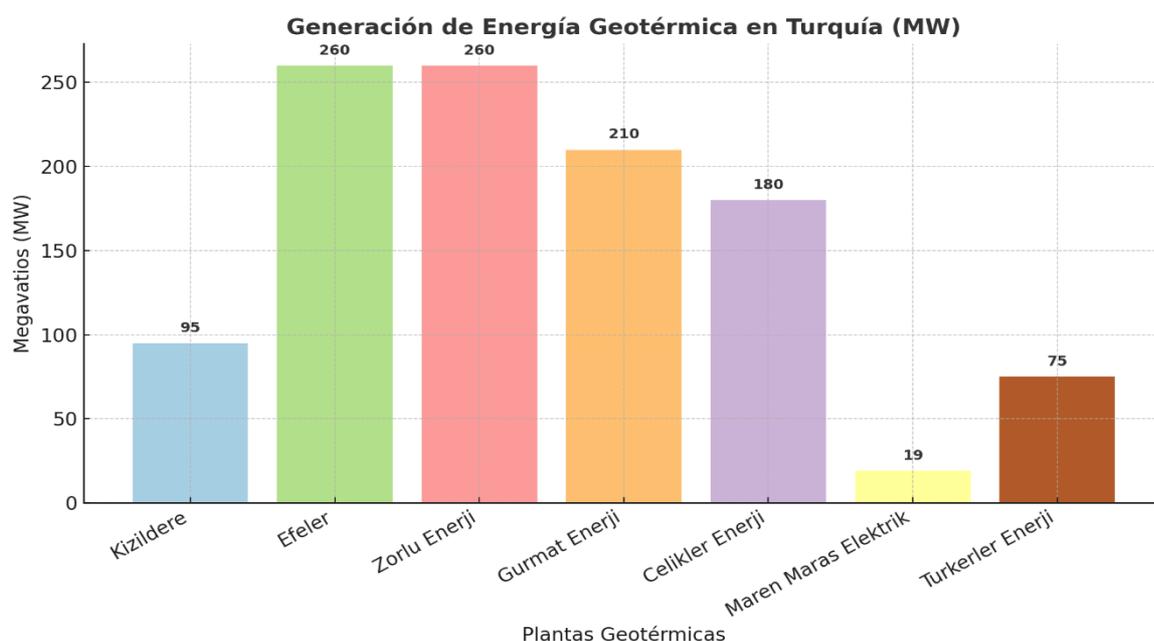
Gracias a esta amplia experiencia, los especialistas han logrado alcanzar profundidades de aproximadamente 4500 metros en la perforación del campo geotérmico de Büyük, un grupo activo con un enorme potencial térmico. Esta región se extiende más de 140 km y alcanza aproximadamente 14 km, lo que la convierte en el principal polo de desarrollo geotérmico.

Desde la promulgación de la Ley de Agua Mineral Geotérmica y Natural en 2007, las medidas de investigación tuvieron un crecimiento significativo, puesto que este marco legal proporcionó la confianza necesaria para atraer inversiones privadas y para difundir dudas sobre obstáculos legislativos o técnicos. Uno de los cambios más importantes fue la simplificación de los procedimientos administrativos, reduciendo significativamente los requisitos de licencia, que permanecen en solo dos permisos significativos (ver Figura 8):

- Kizildere genera 95 MW.
- Efeler genera 260 MW.
- Zorlu Enerji genera 260 MW.
- Gurmat Enerji genera 210 MW.
- Celikler Enerji genera 181 MW.
- Maren Maras Elektrik genera 19 MW.
- Turkerler Enerji genera 78 MW.

**Figura 8**

*Cantidad de MW generados en Turquía*



*Nota.* Elaboración propia.

### **3.9.5 Nueva Zelanda: 1042 MW**

La Asociación Geotérmica de Nueva Zelanda (NZGA) enfatiza que la industria geotérmica se consolidó desde la década de 1950 y actualmente está organizada en cuatro segmentos principales: industrias de alta, media y baja temperatura, junto con el órgano regulador, que constituye el ingrediente principal. Tanto a nivel local como internacional, la industria se ha convertido en el apoyo del Ministerio de Asuntos Exteriores en Nueva Zelanda y NZ Trade and Enterprise, lo que ha facilitado su expansión hacia los mercados globales.

Entre los principales operadores geotérmicos destacan Contact Energy y Mercury Energy (anteriormente conocida como Mighty River Power), además de otros actores relevantes como Taupaki Trust, Ngati Geothermal Ventures, Eastland Generation y Top Energy. De acuerdo con los datos de NZGA, Nueva Zelanda cuenta con una capacidad neta de 957 MW distribuidos en 19 plantas geotérmicas. La instalación más antigua, Wairakei, ha estado funcionando desde 1958 y sigue siendo una referencia.

La energía geotérmica representa el 18 % del suministro de electricidad anual del país, equivalente a 7660 GWh, superando la generación combinada de vientos fotoeléctricos y energía solar. Los ingresos económicos de las ventas de electricidad mayoristas han alcanzado los \$ 539 millones en Nueva Zelanda (aproximadamente \$ 360 millones), impulsados por el aumento reciente en los precios mayoristas.

Por otra parte, los sistemas geotérmicos de alta temperatura aportan aproximadamente 5600 TJ por año, mientras que aquellos con bajas temperaturas contribuyen con alrededor de 8000 TJ, complementados con cerca de 400 TJ adicionales generados mediante bombas de calor. Estas fuentes de energía se aplican en diversas industrias, destacando la pasteurización en la industria de la leche o los procesos de secado y evaporación en los sectores de leche y bosques.

- La planta geotérmica Wairakei genera 1310 GWh.
- La planta de Rotokawa II genera 10 MW.
- Geothermal Developments Ltd genera 9 MW.
- Te Ahi o Maui genera 25 MW.
- Topp1 prospecto para 2025 con una meta de 1000 MW de energía.

### **3.9.6 Kenia: 985 MW**

La energía geotérmica se ha consolidado una fuente fundamental dentro de la industria energética de Kenia y resalta su enorme potencial para la generación sostenible de la energía en el siglo XXI. Se revisaron artículos publicados en revistas científicas relacionados con los temas en discusión. Actualmente, Kenia ha logrado aprovechar 889 MW de energía geotérmica, de un potencial estimado en 10 000 MW, distribuidos en 14 zonas con capacidad de desarrollo. El estudio revela que el impacto ambiental puede manifestarse en diferentes etapas del proceso: desde la preparación del terreno y la construcción de la planta, hasta la operación y el eventual desmantelamiento.

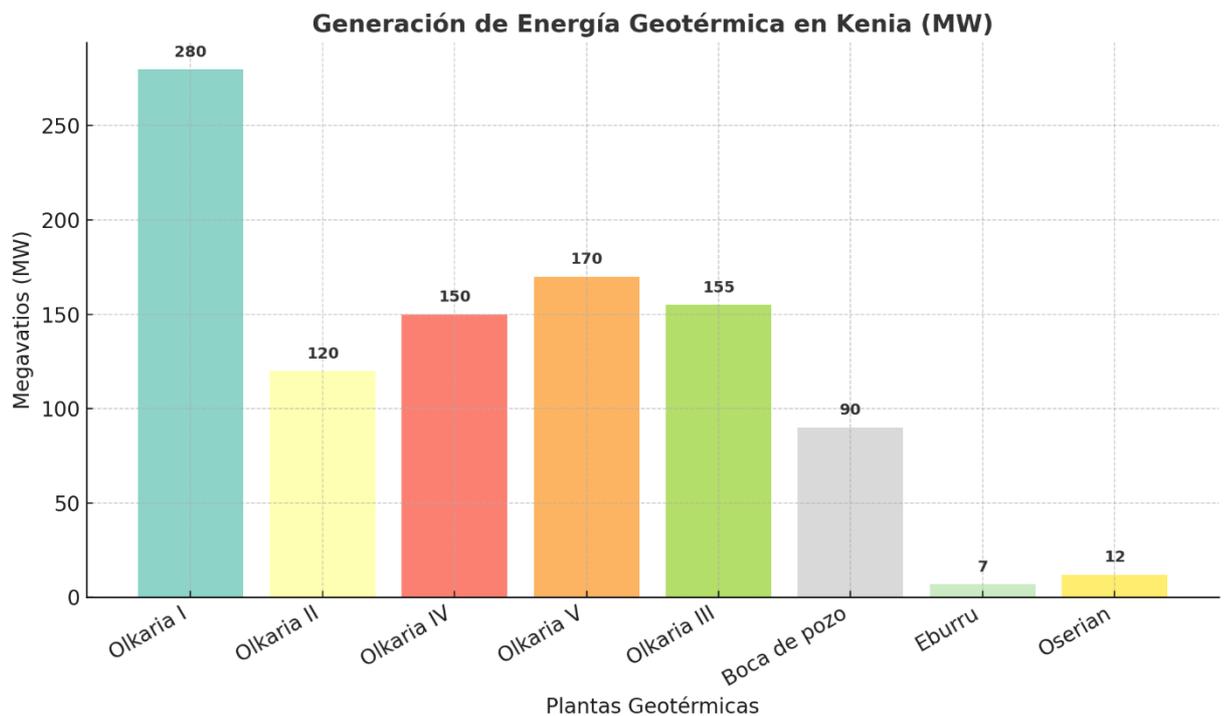
Entre los impactos identificados se encuentran modificaciones significativas en la superficie estatal, la generación de desechos sólidos y líquidos, el aumento de la actividad sísmica, el deterioro de la calidad del aire, la contaminación del aire y los efectos negativos en los bosques y la biodiversidad. También se han detectado

contaminantes químicos de desechos y cambios superficiales. Durante las actividades de perforación, los fluidos geotérmicos pueden ocasionar efectos adversos. No obstante, el impacto ambiental no es generalizado o desproporcionado, lo que sugiere que los efectos negativos del uso de la energía geotérmica pueden procesarse y controlarse mediante medidas suficientes (ver Figura 9).

- Olkaria II: genera 105 MW.
- Olkaria IV: genera 140 MW.
- Olkaria V: genera 158 MW.
- Olkaria III: genera 139 MW.
- Plantas de generación de pozo: 75 MW.
- Plantas piloto en Eburru generan 2,5 MW.
- Plantas de Oserian generan 4 MW.

**Figura 9**

*Cantidad de MW generados en Kenia*



*Nota.* Elaboración propia.

### **3.9.7 México: 976 MW**

En 1954, la Comisión Federal de Energía (CFE), en cooperación con recién compañía eléctrica de Chapala, logró un avance significativo al aumentar su generación en 893 000 kW, lo que duplicó la cifra alcanzada el año anterior. En conjunto, ambas compañías establecieron 1654 millones de kWh, lo que representa el 54 % de la electricidad para el servicio público en el país.

Por otro lado, el Sindicato Nacional de Energía y Servicios Públicos (SNEESCRM), vinculado a la Confederación de Empleados Mexicanos, alcanzaba en ese entonces 2920 miembros, consolidándose como una de las principales fuerzas laborales en el sector energético de la época. Ese mismo año, la CFE marcó un punto de inflexión al ampliar sus operaciones con 233 millones de contribuciones de peso a proyectos de electrificación, alcanzando una capacidad instalada de 113 398 kW. Además, extendió su red con aproximadamente 1098 km de línea eléctrica y elevó la generación a cerca de 2303 millones de kWh, consolidando así su papel principal en el suministro nacional de energía.

Entre las nuevas plantas de energía hidroeléctrica que entraron en operación comercial se encontraban Cobano y San Bartolo, ubicadas en el Estado de México, así como la planta de Falcón, en Tamaulipas. Este último proyecto incluyó la construcción de una presa y un puente internacional que conecta Nuevo Laredo con Laredo, Texas, convirtiéndose en una obra clave tanto para el suministro energético como para la integración comercial de la región.

En 1957, dado que casi la mitad de los territorios nacionales aún no contaba con el servicio de electricidad, la CFE reforzó sus planes de expansión, añadiendo aproximadamente 2400 km de líneas eléctricas adicionales, así como trabajos de infraestructura complementarios. Gracias a estos esfuerzos, fue posible electrificar 231 ciudades con un total de aproximadamente 462 000 habitantes. En este proceso, la participación activa de las autoridades locales y de la propia población resultó decisiva. En este contexto, el presidente Adolfo Ruiz Cortines enfatizó en sus informes anuales: “Debemos tratar incansablemente de lograr esta electrificación necesaria para nuestro progreso constante de material”.

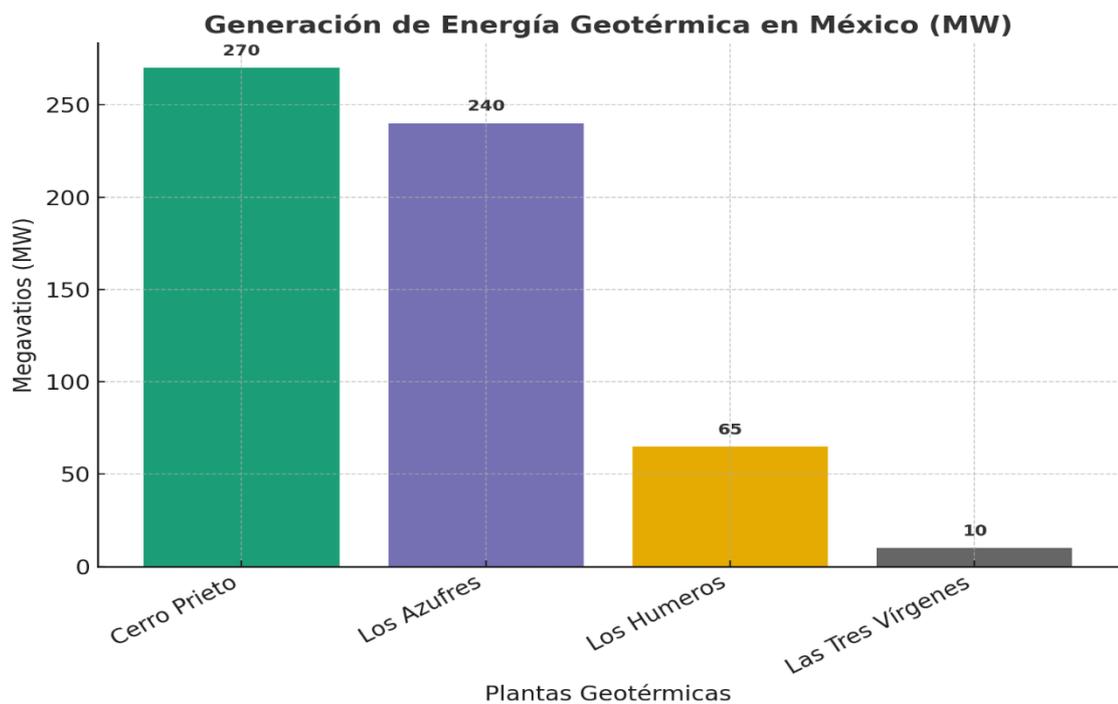
Posteriormente, en noviembre de 1969, la CFE inició sus trabajos en Geotérmico México, instalando la primera fábrica experimental ubicada en Pathé, Hidalgo, con una capacidad de generación de 1500 W. Aunque la planta se ejecutó después de 14 años de operación, gracias a su baja producción, por debajo de 500 kW, este proyecto representó un paso pionero y sentó las bases para el desarrollo geotérmico en México.

El gobierno federal ha seguido impulsando la investigación geotérmica en distintas regiones del país, entre ellas Cerro Prieto, Baja California e Ixtlán de Los Hervores en, Michoacán. Actualmente, destacan las siguientes plantas (ver Figura 10):

- Cerro Prieto: genera 570 MW.
- Los Azufres: genera 242 MW.
- Los Humeros: genera 60 MW.
- Las tres vírgenes tienen una capacidad de 10 MW.

**Figura 10**

*Cantidad de MW generados en México*



*Nota.* Elaboración propia.

### **3.9.8 Italia: 916 MW**

Larderello marcó un punto de inflexión en la historia de la energía geotérmica al convertirse en un pionero de la producción de electricidad a partir de esta fuente en 1904, cuando el Pierro Ginori Conti logró iluminar cinco bombillas utilizando un generador rudimentario. Posteriormente, en 1913, se instaló allí la primera planta de energía geotérmica. Una de sus aplicaciones iniciales fue el suministro de energía a la fábrica textil de la familia Larderello, cuyo apellido dio nombre al lugar.

El Museo Geotérmico Larderello conserva una réplica del prototipo original utilizado para aprovechar esta fuente de energía por primera vez. En 1962, el grupo Enel adquirió instalaciones geotérmicas en la Toscana y, desde entonces, ha contribuido a su desarrollo a largo plazo. Actualmente gestiona 34 plantas en la región, que abastecen alrededor del 34 % del consumo eléctrico local. Además, estas instalaciones proporcionan calefacción a aproximadamente 13 000 usuarios, calor para invernaderos y pequeños talleres artesanales, al tiempo que se han convertido en un motor turístico sostenible: cerca de 60 000 personas visitan cada año el Museo Geotérmico y los recorridos vinculados a este patrimonio energético.

### **3.9.9 Islandia: 754 MW**

Islandia es hoy una referencia mundial en el uso de energías renovables como base para mantener una economía moderna; sin embargo, su trayectoria histórica fue distinta. Durante siglos, el aprovechamiento de los recursos geotérmicos se limitó a usos básicos, principalmente relacionados con la higiene personal y los baños, mientras que la producción hidroeléctrica en el siglo XX apenas comenzó con una capacidad reducida para algunos megavatios.

En la década de 1970, gran parte del consumo de energía del país seguía dependiendo del combustible fósil importado. Aunque en la actualidad la transición hacia fuentes renovables se asocia con la mitigación del cambio climático, esta no fue la razón principal de su implementación en Islandia. El verdadero detonante fueron las fuertes fluctuaciones en los precios internacionales del petróleo, que generaron una gran vulnerabilidad en la economía nacional. En ese contexto, el país necesitaba con

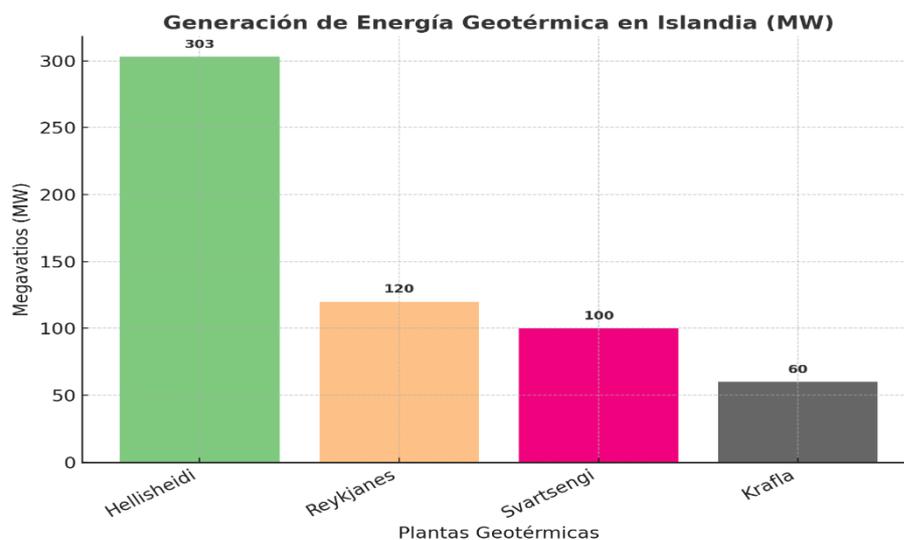
urgencia un recurso energético doméstico, estable y económicamente viable, especialmente dada su ubicación aislada cerca del Círculo Ártico.

Los primeros avances hacia un uso más amplio de energía geotérmica e hidroeléctrica estuvieron vinculados a iniciativas de empresarios locales. A comienzos del siglo XX, un agricultor desarrolló un rudimentario sistema de calefacción, desviando agua caliente subterránea hacia su granja. Este hallazgo fue adoptado gradualmente por compañías municipales, lo que dio paso a estudios más sistemáticos del potencial geotérmico de la zona. Posteriormente, la incorporación de tecnologías industriales de perforación, provenientes de la industria petrolera, permitió acceder a aguas subterráneas de mayor temperatura, aptas para abastecer a más hogares. Finalmente, esta experiencia condujo al desarrollo de proyectos clave, como los sistemas centralizados de calefacción urbana, que marcaron un punto de inflexión en la evolución energética del país (ver Figura 11).

- Planta de Helliseiøi genera 303 MW.
- Planta de Reykjanes genera 100 MW.
- Planta de Svartsengi genera 75 MW.
- Planta de Krafla genera 60 MW.

**Figura 11**

*Cantidad de MW generados en Islandia*



*Nota.* Elaboración propia.

### **3.9.10 Japón: 576 MW**

En particular, Japón cuenta con condiciones favorables para el aprovechamiento de la energía geotérmica, debido a su proximidad al arco volcánico de Izu-Bonin-Mariana. La intensa actividad volcánica del archipiélago lo sitúa entre los países con mayor potencial para desarrollar fuentes sostenibles de este tipo de energía. Su ubicación en el Anillo de Fuego del Pacífico, caracterizado por una elevada concentración de volcanes activos, ofrece el entorno ideal para la instalación de sistemas de producción geotérmica.

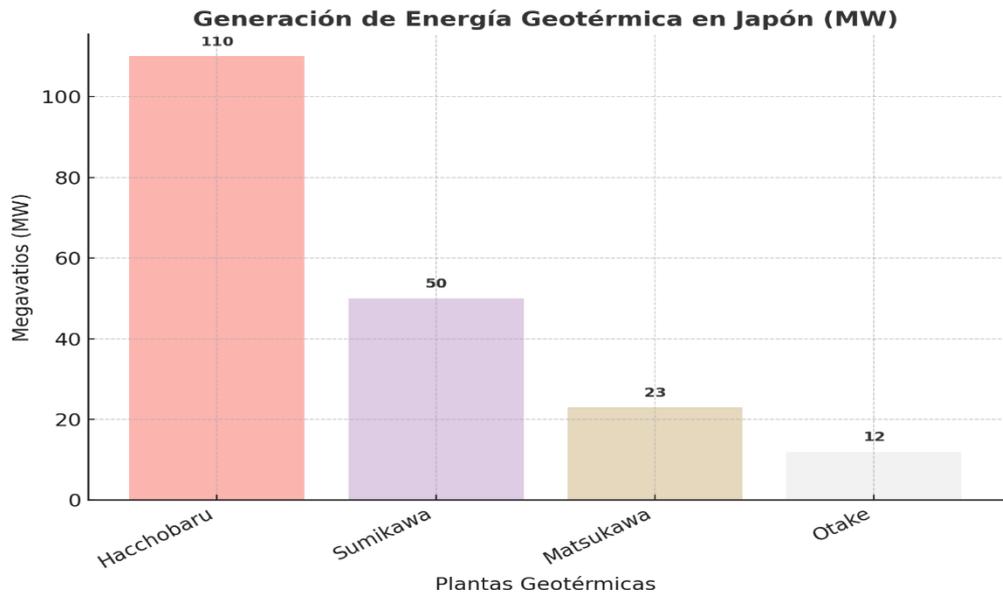
Un punto de inflexión importante fue la puesta en marcha del sistema Matsukawa, que se consideró la primera instalación comercial de este tipo en el territorio japonés. En 2007, Japón alcanzó la capacidad instalada de 535,2 MW, equivalente a aproximadamente el 5 % de la capacidad geotérmica mundial. No obstante, a pesar de su gran potencial, la participación de la energía geotérmica en la generación eléctrica del país ha sido limitada. En 2013, esta fuente produjo 2596 GWh de electricidad, lo que representó apenas el 0,25 % del total nacional. Además, desde mediados de la década de 1990, la construcción de nuevas plantas geotérmicas ha disminuido de manera significativa.

Una de las principales razones de la limitada expansión de la energía geotérmica en Japón es que muchas de las zonas con condiciones óptimas para su desarrollo se encuentran dentro de las áreas protegidas naturales o en lugares populares para el turismo, especialmente aquellos asociados con las fuentes hidrotermales tradicionales. Estas aguas, vinculadas a la cultura Onsen, tienen un valor muy importante para la sociedad y la economía, lo que las convierte en un tema clave en las discusiones sobre políticas energéticas y proyectos que involucran el uso de recursos térmicos (ver Figura 12).

- Hacchobaru genera 110,2 MW.
- Sumikawa genera 50 MW.
- Matsukawa genera 23,5 MW.
- Otake genera 12,5 MW.

**Figura 12**

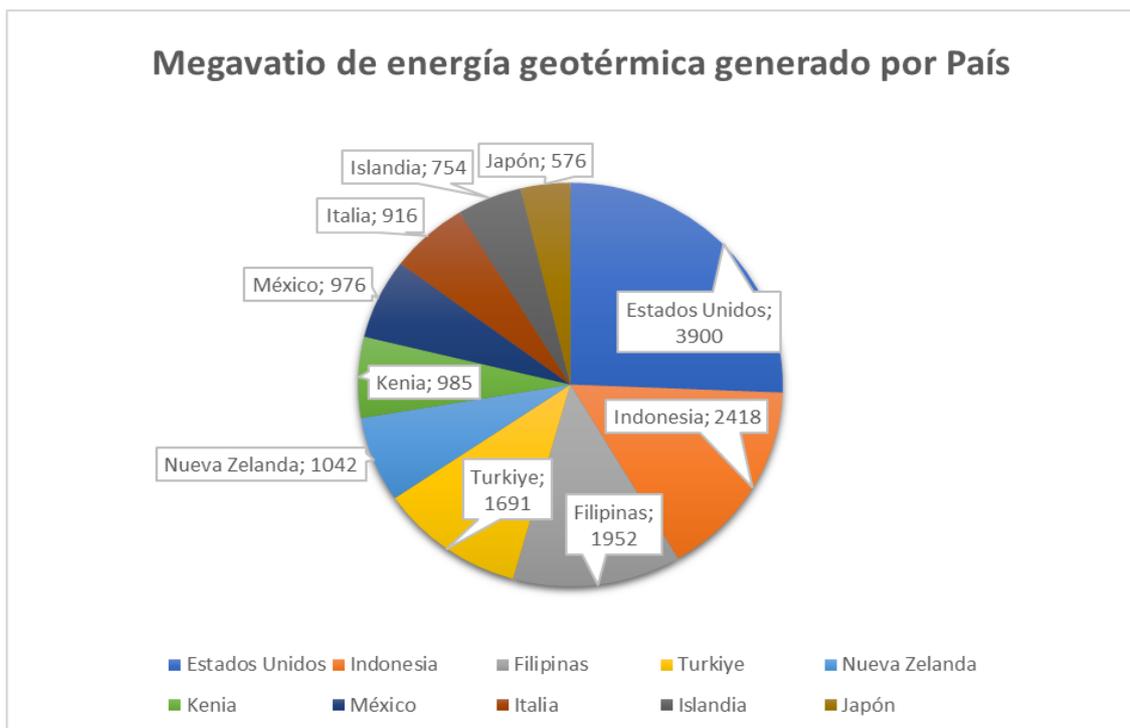
*Cantidad de MW generados en Japón*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 13**

*Megavatio de energía geotérmica generado por país*



*Nota.* Elaboración propia.

### **3.10 Países con Mayor Porcentaje de Desalinización de Agua**

#### ***3.10.1 Israel: 585 Millones de Metros Cúbicos de Agua Desalinizada al Año***

Israel, reconocido internacionalmente como una de las referentes más importantes en desalinización, cuenta con una amplia variedad de plantas, entre las cuales destaca Sorek, considerada la más grande del mundo. El método más utilizado en el país es la ósmosis inversa, que consiste en la presión del agua para pasar a través de las membranas capaces de prevenir los sólidos disueltos.

El agua obtenida mediante este proceso está destinada tanto al consumo como al riego, lo que ha permitido a Israel reducir significativamente su dependencia de las fuentes tradicionales de agua dulce y disminuir la presión sobre sus recursos hídricos. Este progreso ha sido la clave para mantener su desarrollo económico y garantizar la seguridad del agua en la alta demanda y limitar las reservas de la naturaleza en el contexto.

- Sorek: 150 millones de m<sup>3</sup> al año.
- Hadera: 127 millones de m<sup>3</sup> al año.
- Askelon: 118 millones de m<sup>3</sup> al año.
- Palmachim: 90 millones de m<sup>3</sup> al año.
- Ashdod: 100 millones de m<sup>3</sup> al año.

#### ***3.10.2 Arabia Saudita: 3540 Millones de Metros Cúbicos al Año***

Ante la disponibilidad limitada de agua dulce, Arabia Saudita ha realizado importantes inversiones en el desarrollo de tecnologías de ventas de agua de mar. La técnica dominante en el país es la destilación térmica, un proceso que consiste en la evaporación del agua y la posterior condensación para separar minerales y sales no deseados.

El agua resultante se utiliza en diversas áreas: entrega humana, riego agrícola y uso industrial. Gracias a este enfoque, Arabia Saudita ha logrado enfrentar desafíos relacionados con el agua, al tiempo que promueve el crecimiento urbano y fortalece su seguridad alimentaria en el desierto con una alta demanda de recursos hídricos.

### ***3.10.3 Emiratos Árabes Unidos: 813 220 millones de Metros Cúbicos al Año***

Los Emiratos Árabes Unidos (EAU) se destacan por sus ambiciosos proyectos de infraestructura y han desarrollado una amplia red de sistemas de desalinización que se distribuyen en su territorio. Estos espacios utilizan principalmente tecnologías combinadas, donde la ósmosis inversa se complementa con procesos progresivos, como varias destilaciones de efectos secuenciales que se benefician de varias etapas de evaporación y condensación para aumentar la eficiencia.

El agua obtenida a través de estos sistemas cubre no solo la necesidad de consumo, sino que también respalda sectores estratégicos como el riego agrícola, el turismo y las actividades comerciales locales. La alta capacidad de estas plantas es la clave para mantener acelerando el crecimiento urbano en la región, lo que garantiza un suministro de agua permanente al medio ambiente caracterizado por condiciones secas y una alta demanda de este recurso.

### ***3.10.4 Australia: 45.000.000 Millones de Metros Cúbicos al Año***

Australia, un país donde grandes regiones se ven afectadas regularmente por severas sequías, ha realizado importantes inversiones en soluciones tecnológicas basadas en sistemas de desalinización. La mayoría de estos equipos utiliza procesos de ósmosis inversa, que en muchos casos se complementan entre sí con el uso de energía renovable para aumentar su eficiencia y sostenibilidad.

La producción de agua derivada no se limita al consumo local, sino que también abastece la horticultura, el sector industrial estratégico y, especialmente, la minería. De esta manera, la introducción de estas tecnologías garantiza una disponibilidad continua de agua, incluso teniendo en cuenta las condiciones climáticas desfavorables que fortalecen la resistencia de la sociedad y promueven la seguridad nacional del agua.

En conjunto, la incorporación de proyectos y energía renovable está significativamente influenciada por la calidad de vida de la población, no solo proporcionando acceso a un recurso importante, como el agua, sino también promoviendo nuevas oportunidades de trabajo y seguridad alimentaria. Este progreso, a su vez, impulsa directamente el crecimiento de la actividad económica en diferentes

sectores. Sin embargo, es importante reconocer los problemas asociados con estas iniciativas, incluido el alto consumo de energía y el potencial impacto negativo en el medio ambiente.

Por consiguiente, es importante mantener una búsqueda permanente de alternativas técnicas sostenibles, que permita maximizar los beneficios obtenidos y, al mismo tiempo, garantizar la disponibilidad de agua en el futuro según el método de sostenibilidad (ver Tabla 6).

**Tabla 6**

*Cantidad de metros cúbicos desalinizados al año*

Países	Metros cúbicos desalinizados al año
Israel	585 000 000
Arabia Saudita	2 737 500 000
Emiratos Árabes Unidos	813 220 000
Australia	4 500 000 000
Egipto	334 705 000
Marruecos	250 000 000

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 14**

*Volumen de agua desalinizada al año*



*Nota.* Elaboración propia.

### **3.11 Normativa y Marco Legal Ecuatoriano en Desalinización y Energías Renovables**

El marco legislativo relacionado con la gestión del agua y la energía ha experimentado un desarrollo significativo, incorporando principios integrados de sostenibilidad, eficiencia y justicia en las últimas décadas. Esta estructura legal constituye un pilar fundamental de viabilidad de proyectos innovadores, como la desalinización respaldada por la energía geotérmica, que ofrece pautas claras que facilitan la identificación de capacidades legislativas y, al mismo tiempo, permiten problemas administrativos que pueden surgir en su implementación.

En primer lugar, las leyes orgánicas sobre el agua reconocen el acceso al agua como un derecho humano fundamental y lo declaran como un beneficio estatal para el uso público. Esta disposición establece la determinación de las prioridades de consumo para cualquier otra aplicación y promueve la gestión integrada de los recursos hídricos. La normativa obliga a garantizar el acceso al agua potable, que es universal, suficiente, saludable, aceptable y aceptable. Este principio proporciona apoyo legal directo para el desarrollo de proyectos de suministro alternativos, especialmente en áreas costeras con déficit de recursos hídricos.

Por otro lado, el Código Orgánico del Medio Ambiente y su normativa asociada regulan los requisitos para la introducción de tecnologías de consumo de energía, incluidas las basadas en fuentes duraderas no convencionales, como la energía geotérmica. Esta autoridad administrativa determina procedimientos claros para la adquisición de licencias ambientales, el desarrollo de la investigación de influencia, los mecanismos de participación de ciudadanos y el uso de sistemas de monitoreo. Todos estos aspectos son esenciales para garantizar que la instalación y la operación de los sistemas de desalinización se lleven a cabo con bajo impacto en el medio ambiente y de acuerdo con los principios de sostenibilidad.

En el ámbito energético, las leyes orgánicas en el servicio de electricidad eléctrica pública, junto con el plano general de la electricidad, se crean como una prioridad para una fuente limpia y duradera en la matriz de energía nacional. En este contexto, la energía geotérmica se reconoce como una fuente estratégica, aunque su excelente uso todavía está en sus etapas iniciales. No obstante, el Ministerio de Energía

y Ministerio ha promovido la investigación técnica y firmó acuerdos internacionales que apoyan el desarrollo de este recurso en el país.

Asimismo, Ecuador ha ratificado compromisos internacionales, como el Acuerdo de París sobre el cambio climático, que fortalece la obligación de promover la energía pura y el bajo contenido de carbono. Estas obligaciones consolidan el apoyo político y regulatorio para soluciones como las planteadas en este estudio.

En cuanto a los estándares técnicos, la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y la Agencia de Regulación y Control de Energía (ARCONEL) son responsables de establecer los parámetros de calidad del agua potable y la regulación de los sistemas de tratamiento y distribución. Por lo tanto, cualquier sistema de punto muerto instalado en el país debe adaptarse a estas reglas y, por lo tanto, garantizar su legalidad y su funcionamiento adecuado.

En conjunto, Ecuador cuenta con un marco legal favorable para la introducción de tecnologías de desalinización integradas con la energía geotérmica, siempre que se ejecuten los procedimientos ambientales, sanitarios y energéticos correspondientes. La articulación de estos instrumentos regulatorios en todas las etapas del proyecto, desde el diseño hasta la operación, es clave para garantizar su viabilidad institucional y sostenibilidad a lo largo del tiempo.

### **3.12 Energía Geotérmica en Ecuador: Estado Actual y Políticas de Fomento**

En Ecuador, la energía geotérmica es una fuente a largo plazo con un potencial importante, aunque su desarrollo aún se encuentra en estado incipiente. Este recurso proviene del calor interno del suelo, que puede aprovecharse mediante tecnologías especializadas tanto para la producción de electricidad como para los procesos térmicos, incluido el despliegue de agua de mar.

La ubicación del país en el Cinturón de Fuego del Pacífico proporciona condiciones geológicas favorables con el uso geotérmico, especialmente en sitios como Andesa y zonas volcánicas, donde se identifican manifestaciones subterráneas y depósitos de alta temperatura, lo que refleja el potencial estratégico del desarrollo de energía sostenible.

Según los estudios del Instituto Geológico y de Energía [IIGE] (2021), Ecuador tiene el potencial técnico de energía geotérmica de más de 3000 MW, capacidad que, de desarrollarse, podría cubrir una parte significativa de la demanda eléctrica nacional. Hasta la fecha, el país no cuenta con plantas geotérmicas en actividades comerciales. No obstante, la investigación existente y los estudios preliminares sientan las bases para futuros proyectos de desarrollo en esta área.

Uno de los proyectos más avanzados del país es el campo geotérmico de Chachimbiro, ubicado en la provincia de Imbabura, cuyo estudio se ha desarrollado desde 2009. Estas investigaciones han contado con el apoyo técnico de Japón a través de la Agencia Internacional de Cooperación (JICA), que permitió fortalecer la investigación sobre el potencial geotérmico en el área y la sesión de apertura en la solicitud comercial futura.

Este proyecto contempla una capacidad instalada inicial de hasta 50 MW, utilizando vapor a temperaturas superiores a 180 °C (Ministerio de Energía, 2020). Además de Chachimbiro, se desarrollan investigaciones activas en otras áreas del país, como Tufiño-Chiles-Cerro Negro en Carchi y el complejo volcánico de Chacana en la provincia de Napo, donde las manifestaciones hidrotermales reflejan un interés energético considerable.

En la región costera, aunque históricamente se ha considerado que posee un potencial geotérmico más bajo, se han identificado fuentes de baja y media entalpía aptas para aplicaciones directas en procesos industriales, incluida la desalinización de agua de mar. Ejemplos representativos son las fuentes de Andil, Choconchá y Joa en el cantón Jipijapa, cuyas temperaturas varían entre 40 °C y 70 °C, lo que las convierte en candidatas idóneas para su integración en sistemas térmicos como la destilación múltiple por efecto.

Desde el sistema legislativo, Ecuador ha integrado gradualmente la energía geotérmica en su estrategia energética nacional, un paso que considero la clave para el desarrollo sostenible de la industria eléctrica. Según 2018-2027, el plan general de electricidad preparado por la energía y los recursos naturales no renovables (2019) es una prioridad para diversificar el desastre energético, que pone especial énfasis en fuentes a largo plazo como Geotermal. En mi opinión, esta fuente se distingue por sus

generaciones permanentes, en oposición a otra energía renovable periódica, como el sol o el viento, y el pequeño impacto en el medio ambiente, lo que lo convierte en una oportunidad estratégica para el país. (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables., 2021)

Además, las obligaciones de Ecuador con los acuerdos internacionales, como el Acuerdo de París, refuerzan la necesidad de avanzar hacia tecnologías limpias. En este contexto, la energía geotérmica no solo cumple con los objetivos de reducción de emisiones, sino que también cumple con la sostenibilidad y el consumo de energía, lo que es esencial para garantizar un suministro de electricidad estable y eficiente.

A pesar del progreso, el desarrollo de proyectos geotérmicos en Ecuador todavía enfrenta obstáculos significativos que requieren atención prioritaria para desbloquear el potencial de esta fuente de larga data. Entre los desafíos más importantes se encuentra la falta de atractivos financieros para el sector privado, la carencia de infraestructura especializada para la investigación y operación geotérmica, y la ausencia de un marco legislativo claro, lo que aumenta los riesgos financieros de los inversores. En este tipo de proyectos, la incertidumbre regulatoria puede ser un freno considerable, como se ha observado en las iniciativas de infraestructura energética, donde la claridad normativa es la clave para la elevación del capital.

Otro aspecto crítico es el alto costo inicial de las investigaciones de perforación, un factor que puede paralizar proyectos en las etapas tempranas sin apoyo estatal o financiamiento multilateral. Este tipo de obstáculos económicos suele limitar la viabilidad de los proyectos geotérmicos en países en desarrollo con escasos recursos de investigación y desarrollo. En este escenario, el uso directo de la energía geotérmica es particularmente interesante, como es el caso de Jipijapa. Aquí, la utilización de fuentes calientes superficiales ofrece una alternativa viable que no requiere una perforación profunda o una infraestructura compleja asociada con la producción de electricidad.

Estos tipos de proyectos, además de ser más económicos, acortan significativamente las condiciones de ejecución, lo que los hace ideales para comunidades o aplicaciones industriales especiales. Desde el punto de vista de la ingeniería, estas soluciones se distinguen por su simplicidad constructiva y su

capacidad para integrarse en los sistemas existentes sin muchos cambios, lo que abre una vía práctica para la aceptación geotérmica en el país.

Esta alternativa resulta particularmente adecuada para proyectos intermedios o comunitarios, como aquellos centrados en sistemas descentralizados de desalinización. Su implementación permite garantizar la soberanía del agua, fortalecer la resiliencia climática y promover un desarrollo territorial equilibrado. En el caso de Ecuador, aunque el desarrollo geotérmico se encuentra en sus etapas iniciales, ofrece una valiosa oportunidad para combinar esta fuente de energía con iniciativas estratégicas, incluida la producción de agua potable en las áreas costeras donde la necesidad es más urgente.

En particular, el uso del calor geotérmico directo en el cantón Jipijapa es un claro ejemplo de cómo es posible mostrar la posibilidad técnica y ambiental de modelos de energía alternativos que proporcionan beneficios sociales significativos. Este enfoque refuerza la necesidad de que proyectos de este tipo sean considerados como prioridad en la planificación e inversión nacional en política.

### **3.13 Desafíos Técnicos y Riesgos Operativos**

La implementación de sistemas que se benefician de la energía geotérmica es una iniciativa innovadora y prometedora, pero requiere considerar desde el inicio los problemas técnicos y operativos del proyecto. Identificar estos obstáculos y proponer soluciones prácticas no solo fortalece la estabilidad del proyecto, sino que también refleja un nivel técnico de preparación que abre el camino para implementar el camino en un lugar como Jipijapa.

#### **Fallas Comunes en Sistemas de Desalinización**

Uno de los principales desafíos en los procesos de desalinización, ya sea mediante ósmosis invertida o destilación, es el ensuciamiento de las membranas. Esto ocurre cuando los microorganismos, partículas sólidas o materia orgánica se adhieren a las superficies de filtración o evaporación, lo que reduce la eficiencia de las membranas y acorta su vida útil. En lugares como Jipijapa, donde la composición del agua de mar puede variar significativamente, este problema se acentúa.

Por otro lado, la corrosión de los componentes metálicos es otro desafío importante. La alta salinidad del agua de entrada y la salmuera concentrada,

combinadas con la humedad típica del entorno tropical, como la costa ecuatoriana, pueden dañar tuberías, intercambiadores de calor y tanques de almacenamiento. Si no se toman medidas preventivas, esto no solo compromete la integridad del sistema, sino que también incrementa los costos de mantenimiento y reemplazo de equipos.

Asimismo, es importante proporcionar posibles errores de voltaje térmico en los sistemas térmicos utilizados en los procesos, como la destilación múltiple. La operación continua durante cambios bruscos de temperatura puede provocar microfisuras o deformación en los materiales, afectando especialmente componentes críticos como evaporadores y condensadores. Aunque este deterioro puede no ser notable en las primeras etapas, su progresión con el tiempo reduce la eficiencia global del sistema. Como resultado, el consumo de energía aumentará significativamente para cada unidad del agua, lo que compromete tanto la viabilidad técnica como el proceso de sostenibilidad económica.

### **3.14 Riesgos Asociados al Manejo de Energía Geotérmica**

La energía geotérmica, aunque permanente y constante, no está exenta de riesgos y requiere un manejo cuidadoso para garantizar la seguridad y la sostenibilidad. Uno de los problemas más graves es el posible gas subterráneo, como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) o incluso otro compuesto temporal que viene con líquido geotérmico. Si no se controlan adecuadamente, estos gases representan un peligro tanto para los humanos como para el medio ambiente. Por ello, es fundamental que los sistemas de ventilación o la neutralización química estén correctamente diseñados y operen de manera eficiente.

Otro desafío técnico importante son las fluctuaciones de temperatura en el recurso geotérmico. Fuentes de Jipijapa como Andil, Choconchá y Joa, han mostrado una temperatura estable de 40 °C a 70 °C, según los datos disponibles. Sin embargo, las condiciones subterráneas pueden variar debido a factores como la carga de extracción, movimientos tectónicos o un uso excesivo. Estos cambios pueden afectar el rendimiento del sistema de desalinización si no se diseña con márgenes de seguridad que permitan manejar fluctuaciones moderadas en la temperatura del recurso.

Finalmente, se debe prestar especial atención a la sostenibilidad del portador de agua geotérmica. Si el calor se obtiene constantemente sin verificar el volumen y la presión del depósito, existe el riesgo de reducir la temperatura útil o incluso provocar el campo del sumidero. Para prevenirlo, es fundamental implementar sistemas y medidas de monitoreo geotécnico, como la reinyección de los fluidos enfriados al subsuelo. Esta práctica ayuda a mantener el equilibrio del sistema y garantiza que los recursos geotérmicos puedan continuar utilizándose durante un periodo de tiempo más largo.

#### ***3.14.1 Medidas de Mitigación y Diseño Resiliente***

Frente a estos riesgos, se plantean una serie de estrategias preventivas y correctivas que deben incorporarse desde la fase de diseño del sistema (ver Tabla 7):

#### ***3.14.2 Pretratamiento del Agua de Mar***

Implementación de filtros mecánicos, carbón activado y dosificación de biocidas para reducir la carga orgánica y minimizar el ensuciamiento de membranas o evaporadores.

#### ***3.14.3 Selección de Materiales Resistentes a la Corrosión***

Uso de aceros inoxidable específicos, recubrimientos epóxicos o polímeros técnicos, especialmente en zonas críticas del sistema, como tuberías, válvulas y tanques de evaporación.

#### ***3.14.4 Implementación de Protocolos de Limpieza Periódica***

En sistemas de ósmosis inversa y mantenimiento preventivo en plantas de destilación múltiple por efecto, para prolongar la vida útil de los equipos y garantizar su rendimiento operativo.

#### ***3.14.5 Instalación de Válvulas de Seguridad y Sensores Multigás***

En áreas geotérmicas, junto con ventilación forzada en zonas de captación y transferencia térmica, para prevenir la acumulación de gases peligrosos.

### 3.14.6 Diseño modular y Escalable del Sistema de Desalinización

De manera que pueda adaptarse a variaciones en la temperatura o caudal del recurso geotérmico sin comprometer su funcionamiento global.

### 3.14.7 Reinyección Controlada de Fluidos Geotérmicos Enfriados

Como parte de una estrategia de gestión sostenible del acuífero, con monitoreo de presión, temperatura y composición química del reservorio a lo largo del tiempo.

### 3.14.8 Simulación y Modelado Termodinámico Previo a la Implementación

Con el objetivo de optimizar el uso energético y prever posibles fluctuaciones en el rendimiento térmico del sistema.

**Tabla 7**

*Comparación de tecnologías de desalinización por tipo de energía: convencional vs. geotérmica*

Tecnología	Fuente Energética	Eficiencia	Costo por m <sup>3</sup>	Escalabilidad
Ósmosis inversa	Red eléctrica	Alta	\$ 0,80 - \$ 1,20	Media-Alta
Destilación múltiple efecto (convencional)	Gas o diésel	Media	\$ 1,00 - \$ 1,60	Alta
Destilación múltiple efecto (geotérmica)	Calor geotérmico	Alta	\$ 0,45 - \$ 0,65	Media-Alta

*Nota.* Gude, V. G. (2018). Geothermal energy for desalin.

## **CAPÍTULO III.**

### **METODOLOGÍA**

#### **6.1 Enfoque Metodológico**

El presente estudio emplea un enfoque inductivo, que parte de observaciones específicas para deriva conclusiones generales. Este enfoque resulta adecuado para explorar la viabilidad de integrar la energía geotérmica en procesos de desalinización en el contexto específico de Jipijapa, Ecuador. La investigación se inicia con la recopilación de datos locales sobre la calidad del agua de mar, el potencial geotérmico de la zona y las necesidades hídricas de la población. A partir de estas observaciones, se desarrollan propuestas técnicas para optimizar la desalinización con energía geotérmica, buscando generalizar los resultados hacia soluciones sostenibles para regiones costeras con características similares.

#### **6.2 Definición del Agua**

El agua, compuesta por dos átomos de hidrógeno y oxígeno (H<sub>2</sub>O), es una sustancia vital para la vida y se encuentra en la naturaleza en diferentes estados: líquido, sólido o gaseoso. Es indispensable para el consumo, la agricultura y la industria. Sin embargo, en áreas costeras como Jipijapa, el agua de mar no puede utilizarse directamente debido a su elevada concentración de sales. Por lo tanto, debe someterse a procesos de desalinización para convertirse en agua potable adecuada para su uso.

### 6.3 Densidad del Agua

La densidad del agua varía según su temperatura, presión y contenido de sales (ver Tabla 8).

**Tabla 8**

*Densidad del agua*

Tipo de agua	Condiciones	Densidad(g/cm <sup>3</sup> )	Notas
Agua pura	A 4 °C.	1	Densidad máxima del agua pura, bajo presión atmosférica estándar.
Agua de mar	A 20 °C, presión atmosférica y salinidad ~35 g/L.	1,025	Valor promedio global; influido por salinidad, temperatura y presión.
Agua de mar en Jipijapa	Se esperan valores cercanos al estándar global.	~1,025.	Posibles variaciones locales debido a temperatura, composición química y factores ambientales; mediciones locales requeridas para confirmación precisa.

*Nota.* Elaboración propia, adaptado de Ecuación internacional de estado de una atmósfera del agua de mar F.J. Millero y A. Poisson, 1981, *Artículos de Investigación Oceanográfica*, 28.

### 6.4 Distribución de Materiales en la Tierra

A lo largo de los años, se ha investigado y determinado que en el planeta Tierra existen diversos materiales, los cuales se pueden clasificar y representar en un esquema que muestra el porcentaje que ocupa cada uno a nivel global. Entre estos materiales se encuentran rocas, desiertos, nieve, montañas, tierra arable, agua dulce y agua salada (ver Tabla 9).

**Tabla 9**

*Distribución de materiales en la Tierra*

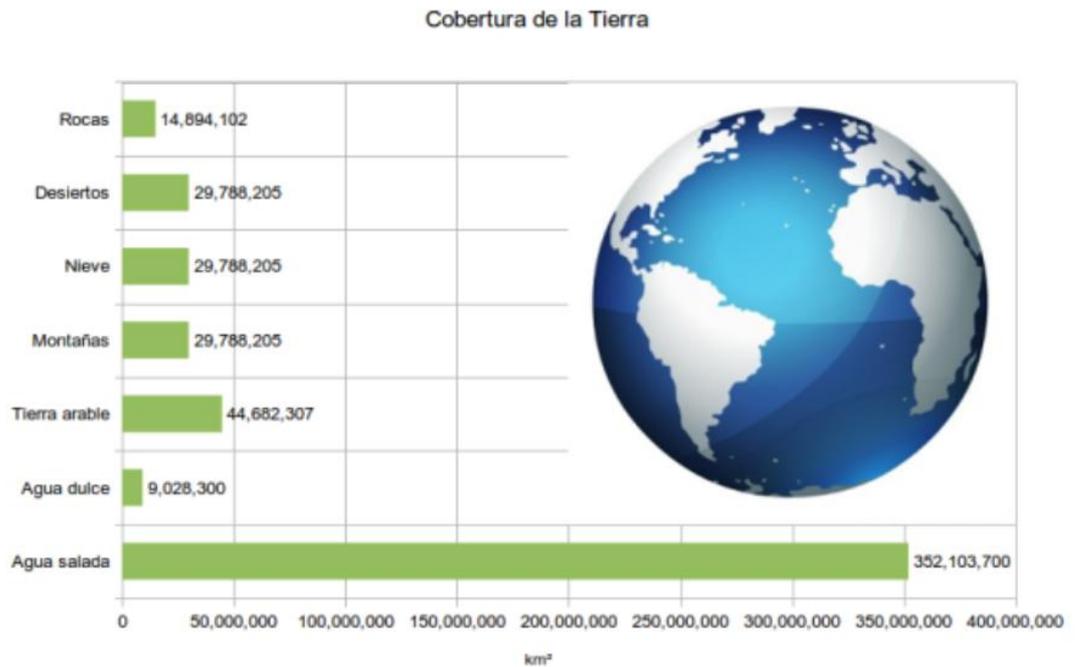
Cobertura	Área (km)	Cobertura de la Tierra en %
Agua salada	352 103 700	69,03
Agua dulce	9 028 300	1,77
Tierra arable	44 682 307	8,76

Montañas	29 788 205	5,84
Nieve	29 788 205	5,84
Desiertos	29 788 205	5,84
Rocas	14 894 102	2,92

*Nota.* Elaboración propia, adaptado de *Cortezas planetarias: su composición, origen y evolución*, por S.R. Taylor y S.M McLennan, 2009, Cambridge University Press.

**Figura 15**

*Cobertura de la Tierra*



*Nota.* Búrica Press, 2007.

La falta de acceso al agua potable en 2025 es un problema grave para muchas familias, no solo en Ecuador, sino también en cualquier rincón del mundo. Al analizar la distribución del agua en el planeta, la diferencia es notable: aproximadamente el 70 % del agua es salada, mientras que solo el 2 % es agua dulce y una pequeña fracción no está disponible para el consumo.

Cabe preguntarse lo siguiente: ¿Qué ocurriría si se pudiera transformar el agua salada en agua dulce y hacerla apta para beber? La idea de limpiar el agua de mar ofrece una esperanza, pero también plantea dificultades técnicas y costosas que deben resolverse con métodos eficaces y sostenibles (ver Tabla 10).

**Tabla 10***Proporcionalidad del agua*

Tipo de agua	Porcentaje del total	Disponibilidad	Notas
Agua salada	97,5 %	Océanos.	Considerada prácticamente inagotable por su gran volumen y área. Requiere desalinización, más costosa y compleja que la potabilización de agua dulce.
Agua dulce	2,5 %	Total de agua dulce.	Limitada. Su uso intensivo podría agotarla, provocando escasez de este recurso vital.
Agua dulce consumible	~1 % del total (0,025 % del agua global)	Ríos, lagos y aguas subterráneas accesibles.	Potabilización más sencilla y económica, pero su escasez la hace vulnerable al agotamiento.
Agua dulce no consumible	~1,5 % del total	Glaciares, humedad del suelo y acuíferos subterráneos inaccesibles.	Mayormente no disponible para consumo directo debido a su estado o ubicación.

*Nota.* Tomado de *The World's Water Volume 8*, por P.H. Gleick, 2014, Springer.

**6.4.1 Desalinización**

La desalinización del agua es un procedimiento que tiene sus primeras menciones en la antigüedad, cuando Aristóteles observó principios físicos que permitían separar el agua de la sal mediante evaporación y condensación, según un documento técnico del Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Unesco para América Latina y el Caribe, publicado en 2013. Como define el PHI, la desalinización es un proceso que permite convertir agua salada, principalmente del mar, en agua dulce apta para el consumo humano y otros usos (Programa Hidrológico Internacional UNESCO, 2013).

Este proceso consiste en extraer la sal del agua de mar para producir agua potable. Sin embargo, según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), este método requiere un alto consumo energético y, en algunos casos, el uso de combustibles fósiles. Aunque el uso de fuentes de energía baja en carbono para sistemas de trabajo contribuye a la reducción de emisiones, la gestión de la capa de sal aún debe devolverse al mar. El problema es que esta agua salada, con una concentración de sales mucho mayor que la del agua de mar, no siempre se diluye fácilmente, lo que puede afectar los ecosistemas marinos si se manejan cuidadosamente.

Un informe del Ministerio de Medio Ambiente de España estableció que, cuando el proceso de desalinización se realiza correctamente, la masa marina tratada no tiene un riesgo directo para la fauna o la flora en el ecosistema. Sin embargo, este tipo de proyectos genera un subproducto a tener en cuenta: por cada litro de agua potable producido, aproximadamente 1,5 litros de salmuera quedan como residuo. Estas aguas residuales contienen compuestos como el cloro y el cobre, que, si no se controlan adecuadamente, pueden generar impactos ambientales, tal como indica el estudio del PNUMA.

El producto generado durante el proceso, llamado “concentrado”, contiene una alta concentración de sales. Según las organizaciones ambientales, si este concentrado no se diluye y distribuye adecuadamente, puede acumularse en forma de una columna de agua salada densa. Esta acumulación, que no se trata adecuadamente, es un riesgo significativo de degradación para los ecosistemas costeros y marinos, lo que afecta tanto a la biodiversidad como a la calidad del medio ambiente natural.

Existen varios procesos de desalinización, cada uno con sus propias particularidades y técnicas específicas, pero se pueden clasificar en dos tipos:

**a) El agua cambia su estado de la materia**

**6.4.2 Destilación**

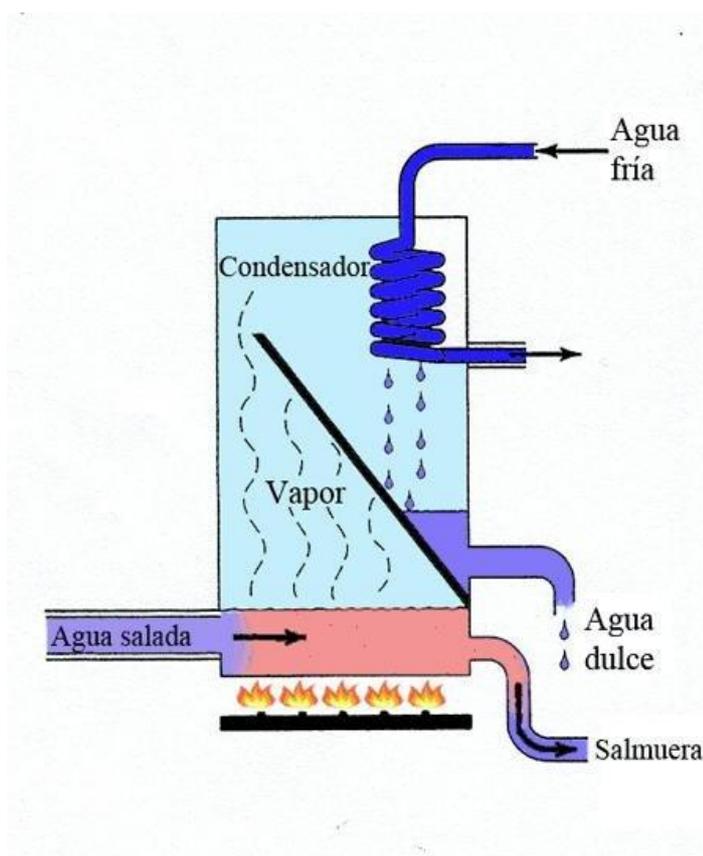
Para desalinizar agua de mar se aplican principalmente dos tipos de procesos: térmicos y por compresión:

- Proceso térmico: el agua pasa de su estado líquido a un estado gaseoso mediante un aumento de temperatura, conocido como destilación de múltiple efecto.

Proceso de compresión: se aplica cuando el vapor de agua se condensa nuevamente a estado líquido, separando las partículas residuales junto con la salmuera, entre otros (ver Figura 16).

**Figura 16**

*Proceso de destilación térmica del agua de mar*



*Nota.* Tomado de *Home*, por Fibras y Normas de Colombia S.A.S, s.f., <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/>

### 6.4.3 Congelación

El agua de mar se congela a  $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  para formar cristales de hielo puro, que se separaran de la solución concentrada en sales. Existen dos procesos de congelación directa:

Por expansión del agua (congelación al vacío): la congelación parcial del agua de mar se puede notar cuando la presión es muy baja, cerca de 3 mm de mercurio, y la temperatura está alrededor de -4 °C. En estas condiciones, también ocurre la evaporación, lo cual hace que el agua se enfríe aún más, formando así el recurso deseado. Es clave mantener el vacío adecuado para controlar este fenómeno de forma segura. Esto se logra al eliminar constantemente el vapor de agua, ya sea con un compresor o utilizando sistemas que absorben la humedad, lo que ayuda a mantener las condiciones estables y a asegurar que el proceso funcione correctamente.

Por congelación asistida por un agente refrigerante: este método implica el uso de un refrigerante cuya tensión de vapor sea considerablemente mayor a la del agua y que no sea miscible. El butano es un hidrocarburo ideal para este proceso (Eslava y Vargas, 2021).

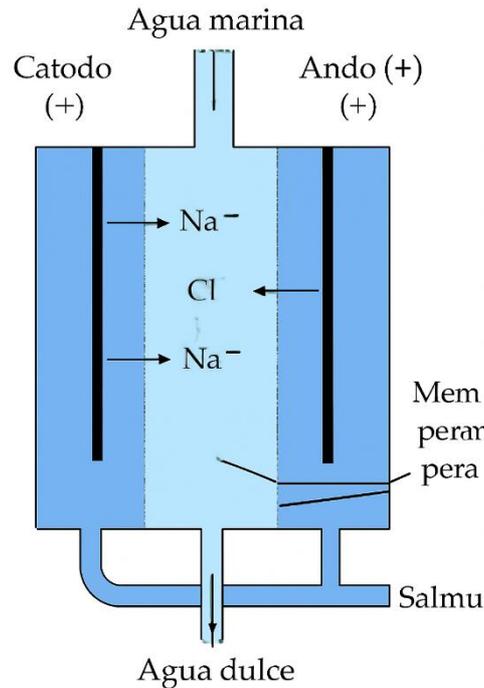
- b) El agua no cambia su estado de la materia (procedimiento con membranas)**

#### **6.4.4 *Electrodiálisis***

Consiste en el paso de iones a través de membranas selectivas, bajo corriente eléctrica. Los cationes y aniones se colocan en manera alternada entre dos electrodos por donde circula el agua de mar a tratar. Este arreglo limita la migración de iones entre los dos electrodos, produciéndose así un flujo de agua desmineralizada y otra enriquecido en iones (ver Figura17).

#### **Figura 17**

*Proceso de electrodiálisis*



*Nota.* WordPress desalinización del agua.

#### 6.4.5 Ósmosis Inversa

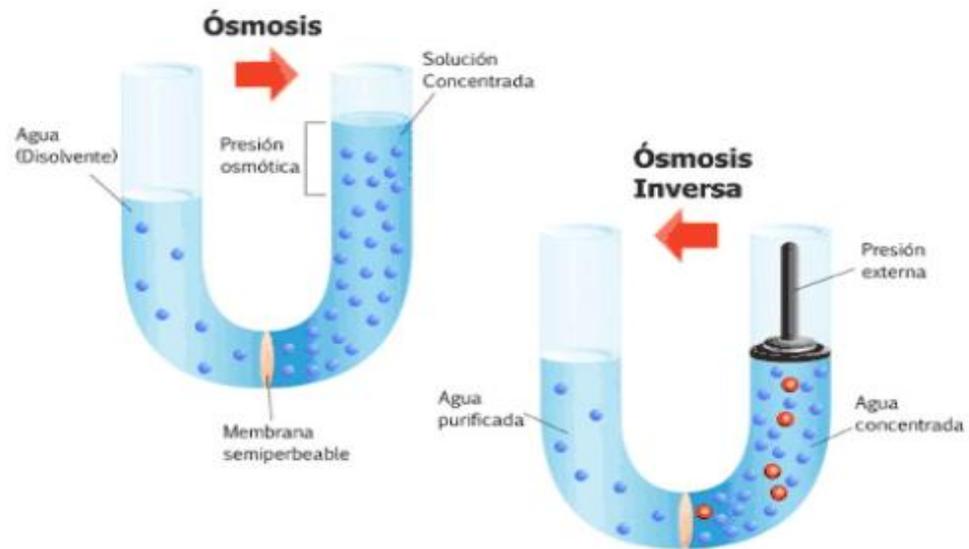
Este método se basa en la aplicación de membranas semipermeables, las cuales permiten el paso de las moléculas de agua, pero bloquean el tránsito de las sales disueltas. Cuando se colocan dos compartimientos separados por este tipo de membrana (uno con agua pura y otro con una solución salina), el agua tiende a desplazarse hacia el compartimiento con mayor concentración de solutos. Como resultado, la solución en el lado de la solución aumenta gradualmente la presión para alcanzar un valor llamado “presión osmótica” que equilibra el flujo de agua a través de la membrana. Este fenómeno corresponde a la ósmosis directa y ocurre naturalmente con soluciones acuosas con diferentes concentraciones.

La ósmosis es un proceso reversible. Si se aplica una presión suficientemente alta en la solución salina, no solo se detiene el flujo natural del agua a través de la membrana semipermeable, sino que también se invierte su dirección. De esta manera, el agua cruza la membrana en la dirección opuesta, desplazándose casi como agua pura hacia el compartimiento con menor concentración de solutos. Este principio es la base de la ósmosis invertida, un método ampliamente utilizado para obtener agua dulce del

agua de mar, que garantiza su purificación a través de un proceso efectivo y técnicamente sostenible (ver Figura 18).

### Figura 18

Diagrama de proceso de ósmosis y ósmosis inversa



Nota. Gude, V. G. (2018). Energía geotérmica para la desalinización.

## 6.5 Contaminantes en el Agua

Cuando una persona consume agua contaminada, se expone a diversos organismos, como virus, bacterias o protozoos, que pueden causar enfermedades. Algunas de estas también pueden originarse por toxinas producidas por algas dañinas y cianobacterias. La contaminación se ve agravada por productos químicos, basuras y bacterias parásitas, los cuales son transportados por arroyos, ríos, lagos, océanos o acuíferos, degradando la calidad del agua y volviéndola tóxica tanto para los humanos como para el medio ambiente.

## 6.6 Enfermedades Infecciosas Transmitidas por el Agua

### 6.6.1 Hepatitis A

La hepatitis A es una enfermedad causada por un virus que se propaga principalmente a través de la vía fecal-oral. Dicho de otro modo, una persona puede

infectarse si, de alguna forma, entra en contacto con heces de alguien que ya porta el virus. Este virus se transmite principalmente cuando las personas infectadas contaminan los alimentos sin lavarse bien las manos después de ir al baño. También puede propagarse en lugares donde el sistema de saneamiento no es adecuado, dado que las heces con el virus pueden mezclarse con el agua. Por ejemplo, cuando las aguas sucias que no se tratan llegan a ríos, lagos o playas, estos sitios pueden infectarse y representar un peligro para la salud de la población.

La hepatitis A suele manifestarse con síntomas como diarrea, pérdida de apetito, náuseas, vómitos, cansancio, dolores musculares, dolor de cabeza y fiebre. Aproximadamente una semana después, aparece la ictericia, un signo distintivo de la hepatitis A aguda, que se reconoce por el tono amarillento en la piel y los ojos. Estos síntomas reflejan el impacto del virus en el organismo, especialmente en áreas con deficiencias en el manejo de aguas residuales, lo que facilita su propagación.

### 6.6.2 *Cólera*

El cólera es una infección causada por la bacteria *Vibrio cholerae* y se caracteriza por un cuadro severo de diarrea acuosa, que puede provocar deshidratación grave en poco tiempo. Esta enfermedad también se transmite por el consumo de alimentos o agua contaminados. La bacteria entra al cuerpo al comer y se establece en el intestino. Luego, genera una sustancia tóxica que daña las células del intestino, causando una diarrea intensa.

### 6.6.3 *Diarrea Infecciosa*

Además del cólera y la hepatitis A, diversos otros microorganismos, como bacterias, virus y parásitos, también pueden contaminar el agua y, en consecuencia, afectar a los seres humanos (ver Tabla 11).

**Tabla 11**

*Bacterias, virus y parásitos*

Bacterias	Virus	Parásitos
<i>Escherichia coli</i>	Rotavirus	<i>Giardia lamblia</i>
<i>Salmonella</i>	Norovirus	<i>Entameba histolytica</i>
<i>Shigella</i>	Adenovirus	<i>Trichuris trichiura</i>
<i>Campylobacter pylori</i>	Sapovirus	<i>Isospora belli</i>

*Chlamydia trachomatis*  
*Yersinia enterocolitica*  
*Vibrio vulnificus*

Astrovirus  
Adenovirus entérico  
Poliomielitis

*Cryptosporidium parvum*  
*Cyclospora cayetanensis*

*Nota.* Department of Health.

#### **6.6.4 Leptospirosis**

La leptospirosis se transmite a través de las ratas de alcantarilla. La enfermedad puede presentarse al consumir líquidos o alimentos contaminados, pero la causa más común es el contacto directo de la piel con agua que tiene la orina de estos roedores. El riesgo de contagio es alto durante las inundaciones, puesto que el agua contaminada de las cloacas se mezcla con el exceso de agua proveniente de las lluvias. Cuanto más tiempo se queda la piel en contacto con el agua contaminada por la orina de ratas, mayor es la probabilidad de contraer la enfermedad.

Más del 75 % de los pacientes presentan fiebre muy alta, escalofríos, dolor de cabeza y dolor en los músculos. El 50 % experimenta náuseas, vómitos y diarrea. Uno de los síntomas más comunes de la leptospirosis es el enrojecimiento de los ojos.

#### **6.6.5 Esquistosomiasis**

La esquistosomiasis, también llamada bilharziasis o fiebre de caracol, es una enfermedad provocada por un parásito denominado *Schistosoma*. Este parásito se encuentra en aguas contaminadas con heces que contienen el parásito y donde habitan ciertos caracoles.

La esquistosomiasis puede contraerse al beber agua infectada, pero la forma más común de contagio es el contacto de la piel con aguas contagiadas, especialmente al bañarse en ellas. Esta enfermedad también puede provocar problemas graves en el intestino y en el hígado.

#### **6.6.6 Otitis Externa**

La exposición del oído al agua es un riesgo conocido para desarrollar otitis externa, que es una inflamación de la parte más externa del oído, también conocida como “otitis de nadador”. La humedad excesiva provoca que la piel del conducto auditivo se

reblandezca y se altere la capa protectora de cera, lo que modifica la flora bacteriana natural y favorece el crecimiento de bacterias que pueden causar la infección. La otitis externa puede ser provocada por bacterias u hongos, y el uso de aguas muy contaminadas incrementa el riesgo de dañar el oído. Sin embargo, esta afectación también puede presentarse en personas que solo utilizan piscinas con agua bien tratada (Fernández y López, 2020).

Existen criterios de exigencia de la calidad de los diferentes tipos de agua:

- a) Agua destinada al consumo humano suministrada por redes de distribución, camiones o cisternas: 0 NMP/100 ml de agua analizada.
- b) Agua ofrecida a la venta en botellas u otros envases: 0 NMP/250 ml de agua analizada.
- c) Agua de baño (agua dulce de ríos o lagos, o agua de mar): recomendado: 100 NMP/100 ml; máximo aceptable: 2000 NMP/100 ml.
- d) Agua de piscinas y otras áreas con atracciones acuáticas: 0 NMP/100 ml de agua analizada.
- e) Agua destinada a riego: 100 NMP/100 ml de agua analizada.

## **6.7 Diferentes Tipos de Energías**

En cuanto a los tipos de energía, se distinguen principalmente entre renovables y no renovables:

Las energías renovables provienen de fuentes de energía que aprovechan recursos como el sol, el viento, el agua o la materia orgánica de plantas y animales, entre otros. A diferencia de las energías tradicionales, no requieren combustibles como el petróleo o el carbón, sino recursos que se pueden regenerar sin problema. Estas energías tienen un menor impacto en el medio ambiente porque no consumen recursos limitados y no producen contaminantes. Los beneficios incluyen la diversificación de la energía del país, el apoyo a la industria local, el desarrollo económico en las regiones y la promoción del turismo.

### **6.7.1 Energía Eólica**

La energía del viento se utiliza para generar energía mecánica o eléctrica. Esta puede obtenerse mediante molinos empleados para bombear agua, lo cual es frecuente en zonas rurales, o a través de aerogeneradores, que se utilizan para producir electricidad (ver Figura 19).

#### **Figura 19**

*Molinos de viento*



*Nota.* Martínez, J. M., & Fernández, A. M. (2020). Energías Renovables y Sostenibilidad.

### **6.7.2 Energía Solar**

La energía solar utiliza la radiación proveniente del sol para convertirla en calor o electricidad, y se puede aprovechar de dos maneras:

Energía solar térmica: se obtiene mediante el uso de colectores térmicos. El componente principal es el captador, por donde circula el fluido que absorbe la energía radiada por el sol.

Energía solar fotovoltaica: se basa en el efecto fotoeléctrico y se realiza mediante las celdas fotovoltaicas, que son semiconductores sensibles a la luz solar. La radiación provoca una circulación eléctrica entre sus dos caras. Las celdas fotovoltaicas conectadas entre sí componen los paneles solares fotovoltaicos (ver Figura 20).

## **Figura 20**

### *Paneles solares*



*Nota.* Martínez, J. M., & Fernández, A. M. (2020). Energías Renovables y Sostenibilidad.

### **6.7.3 Biomasa**

La biomasa es la porción orgánica proveniente de las plantas, animales o de diversas actividades humanas. Este término abarca múltiples fuentes energéticas, que van desde la combustión de la leña para calefacción hasta plantas térmicas para generar electricidad utilizando residuos forestales, agrícolas, ganaderos o energéticos como combustible. Toda biomasa se origina a partir de la fotosíntesis vegetal, la cual sintetiza el CO<sub>2</sub> del aire y otras sustancias simples, aprovechando la energía del sol (ver Figura 21).

## Figura 21

### *Esquemmatización de biomasa*



*Nota.* Martínez, J. M., & Fernández, A. M. (2020). Energías Renovables y Sostenibilidad.

#### **6.7.4 Biogás**

El biogás se forma al descomponerse la materia orgánica mediante un proceso natural llamado “digestión anaeróbica”, que ocurre sin oxígeno y con la ayuda de bacterias especiales. Esta mezcla está hecha principalmente de metano y dióxido de carbono, además de pequeñas cantidades de hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. El metano es un tipo de combustible que tiene suficiente poder calorífico para quemarse en generadores que producen electricidad (ver Figura 22).

## Figura 22

### *Instalaciones de biogás*



*Nota.* Martínez, J. M., & Fernández, A. M. (2020). Energías Renovables y Sostenibilidad.

### **6.7.5 Biocombustibles**

Entre los biocombustibles destacan el bioetanol, el biodiesel y el biogás producidos a partir de materias primas utilizadas en la agricultura, la agroindustria o de desechos orgánicos.

### **6.7.6 Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos**

La energía hidroeléctrica convierte la energía cinética y la energía potencial gravitatoria del agua en energía mecánica, que posteriormente se transforma en energía eléctrica. Este tipo de energía se genera a partir de una corriente de agua (ver Figura 23).

## Figura 23

### *Pequeños aprovechamientos hídricos*



*Nota.* Martínez, J. M., & Fernández, A. M. (2020). Energías Renovables y Sostenibilidad.

#### **6.7.7 Energía Hidroeléctrica**

Las centrales hidroeléctricas transforman la energía que posee el agua cuando se mueve entre dos lugares con diferente altura en energía eléctrica. Para ello, el agua circula por un sistema de canales que va desde un punto más alto hasta otro más bajo; a esta diferencia de altura se le llama “salto”. Durante ese recorrido, el agua gana velocidad, dado que parte de su energía potencial se convierte en energía cinética.

La turbina aprovecha esa energía cinética y la transforma en energía mecánica, que luego el generador convierte en energía eléctrica. Finalmente, el agua sale de la turbina, regresa al río con poca velocidad y conserva la energía potencial correspondiente a la altura desde la que se dejó caer (ver Figura 24).

## **Figura 24**

### *Hidroeléctrica*



*Nota.* Martínez, J. M., & Fernández, A. M. (2020). Energías Renovables y Sostenibilidad.

### **6.7.8 Geotermia**

La geotermia es la energía que se obtiene del calor del interior de la Tierra. Se considera una fuente de energía renovable, dado que el calor es prácticamente inagotable. Se utiliza para generar electricidad, calefacción, agua caliente y refrigeración. Se aprovecha el calor del subsuelo, presente en rocas, suelos y aguas subterráneas, y que se manifiesta como fuentes termales, géiseres o volcanes.

### **6.7.9 Energías Contaminantes**

Se sabe que las energías no renovables son más contaminantes que las renovables. Entre las principales se encuentran, en primer lugar, el carbón, seguido del petróleo y, en tercer lugar, el gas natural.

### **6.7.10 Carbón**

El carbón se encuentra ampliamente distribuido en la Tierra y su extracción se realiza a través de diferentes tipos de minas, que pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Mina subterránea.
- Mina a cielo abierto.
- Mina de talud.
- Mina de palerías.

Además, el carbón presenta diversas variedades según su poder calorífico, ordenadas de mayor o menor: antracita, hulera y turba.

### **6.7.11 Dióxido de Carbono**

El CO<sub>2</sub> se genera a partir de la combustión incompleta del carbón, así como del gas producido en los gasógenos convencionales al hacer pasar aire sobre el carbón incandescente, proceso que también involucra el nitrógeno presente en la atmósfera.

### **6.7.12 Principales Países Productores de Carbón**

El carbón se encuentra principalmente en el hemisferio norte, y actualmente China lidera la producción mundial de este recurso energético.

### **6.7.13 Aplicaciones del Carbón**

La principal ventaja del carbón radica en su capacidad calorífica; sin embargo, también tiene diversas aplicaciones adicionales. Este combustible representa aproximadamente el 25 % de la energía global consumida en la actualidad, y una fracción significativa se destina a la generación de electricidad (Rorldán, 2013) (ver Tabla 12).

**Tabla 12**

*Aplicaciones del carbón*

Uso del carbón	Descripción
Fuente energética para calefacción	En tiempos recientes, el carbón ha sido reemplazado por alternativas más limpias como gas natural, butano, propano, paneles solares y electricidad.

Combustible para industrias siderúrgicas	En la industria metalúrgica, se utiliza coque o alquitrán obtenido por pirólisis del mineral carbonífero sin presencia de aire.
Producción de energía eléctrica	El 40 % del carbón producido se destina a la generación de electricidad en plantas térmicas.
Sector industrial	Un ejemplo de su uso en la industria es en las fábricas de cemento, donde se emplea como materia prima en sus procesos de producción.
Carboquímica	En este sector se utiliza un proceso de gasificación para producir gas sintético, que se convierte en productos como amoníaco, metanol, gasolina y diésel.
Petróleo sintético	Su producción se realiza mediante licuefacción directa, un proceso que fue utilizado por Alemania durante la Segunda Guerra Mundial, pero actualmente está obsoleto.
Alquitrán mineral	A partir de su destilación se obtienen varios productos, como aceites ligeros (benceno, tolueno), aceites medios (naftaleno, fenol), aceites pesados, aceite de antraceno y asfalto.

*Nota.* Rodríguez, R., & Menéndez, J. A. (2019). Química y tecnología del carbón: Aplicaciones industriales y energéticas.

### **Tabla 13**

#### *Ventajas e inconvenientes del uso del carbón como energía*

Ventajas	Inconvenientes
El carbón es uno de los recursos fósiles más prevalentes a nivel global.	La combustión de carbón libera elevadas cantidades de CO <sub>2</sub> y otros agentes contaminantes, lo cual contribuye al cambio climático y afecta la salud pública.
Por lo general, el costo del carbón es inferior al de otras fuentes energéticas, como el gas natural o las fuentes renovables.	La extracción minera puede provocar impactos ambientales severos, incluyendo la destrucción de hábitats naturales y contaminación hídrica.
Las centrales térmicas que utilizan carbón pueden ofrecer un suministro constante y seguro de energía.	Muchos países dependen en gran medida del carbón para sus necesidades energéticas, lo que plantea desafíos durante la transición hacia alternativas más sostenibles.

*Nota.* Rodríguez, R., & Menéndez, J. A. (2019). Química y tecnología del carbón: aplicaciones industriales y energéticas.

#### **6.7.14 Petróleo**

El petróleo sigue siendo el recurso energético más importante de todos los utilizamos, no solo como fuente de energía primaria, sino también como materia prima

para la producción de numerosos subproductos esenciales en la industria. Su uso se remonta a civilizaciones antiguas, comenzando con los chinos y posteriormente adoptado por los árabes, hasta que fue redescubierto por Edwin L. Drake, quien logró extraerlo a una profundidad de 20 metros en Titusville (Pensilvania) en 1859 (Yergin, 2008).

### 6.7.15 Principales Características del Petróleo

Las propiedades del petróleo extraído varían según su lugar de extracción; sin embargo, las siguientes características se consideran generales (ver Tabla 14):

**Tabla 14**

*Propiedades del petróleo*

Propiedad	Descripción
Composición	El petróleo está compuesto por mezclas complejas de hidrocarburos líquidos, que incluyen tanto hidrocarburos sólidos como disueltos. Los principales componentes son hidrógeno y carbono.
Características físicas	Es un líquido oleoso e inflamable, con un color que varía entre amarillo oscuro y negro, y un olor distintivo. Está compuesto fundamentalmente por hidrocarburos.
Densidad	Su densidad varía entre 0,8 y 0,95 kg/dm <sup>3</sup> , lo que afecta su comportamiento en diferentes procesos de extracción y aplicaciones industriales.
Fuente energética	El petróleo es la principal fuente energética utilizada a nivel mundial debido a su alta densidad energética y versatilidad en el uso como combustible.
Asociación con el gas natural	En los reservorios petroleros, se encuentra gas natural, tanto en los depósitos de petróleo como en las capas geológicas adyacentes.
Poder calorífico	El petróleo posee un alto poder calorífico, lo que lo hace eficiente para la generación de energía y como combustible en diversas industrias.

*Nota.* Escobar, M., & Valera, R. (2021). Petróleo y gas natural: fundamentos de su exploración, producción y aplicaciones.

**Tabla 15***Ventajas e inconvenientes del petróleo como energía*

Ventajas	Inconvenientes
Constituye la principal fuente de energía.	Las reservas son finitas, lo que plantea desafíos a largo plazo en su abastecimiento.
Es un recurso esencial en el progreso humano actual, especialmente en sectores como la industria y el transporte.	Su uso conlleva un alto impacto ambiental negativo, contribuyendo al cambio climático y la contaminación.
Posee numerosas aplicaciones en los sectores industrial y del transporte, como la producción de combustibles y productos petroquímicos.	Presenta desafíos relacionados con su abastecimiento, transporte y almacenamiento, debido a la complejidad logística.
Genera una amplia variedad de subproductos, como plásticos, fertilizantes y productos químicos esenciales en muchas industrias.	El precio es altamente volátil e incierto, afectando tanto a los mercados globales como a la economía local.

*Nota.* Escobar, M., & Valera, R. (2021). *Petróleo y gas natural: fundamentos de su exploración, producción y aplicaciones.*

**6.7.16 Gas Natural**

El gas natural es un tipo de energía que se origina en la Tierra y está compuesto principalmente por metano (CH<sub>4</sub>). También puede contener otros compuestos, como etano, propano y butano. Se encuentra en grandes cantidades bajo tierra, a menudo junto con el petróleo. A nivel mundial, el gas natural es ampliamente utilizado debido a su versatilidad y genera menos daño al medio ambiente en comparación con otros combustibles que se usan.

Se utiliza para generar electricidad, calefaccionar viviendas y cocinar en los hogares.

Asimismo, se emplea en vehículos equipados con motores especiales que funcionan con gas natural comprimido (Gonzales, 2020).

**6.7.17 Aplicaciones del Gas Natural**

El gas natural constituye una de las principales formas de energía en la actualidad. Se aplica en todos los sectores de la actividad que demandan energía térmica, los cuales se describen en la Tabla 16.

**Tabla 16***Aplicaciones del gas natural*

Aplicación	Descripción
Preparación de alimentos	Uso en cocinas y estufas para la cocción de alimentos.
Calefacción	Empleo en residencias, industrias y servicios para calefacción.
Producción eléctrica	Generación de electricidad mediante ciclos convencionales o combinados.
Tratamientos térmicos	Utilización para procesos de tratamientos térmicos en la industria.
Secado de materiales	Aplicación en el secado directo de materiales en diversos sectores industriales.
Cocción de productos cerámicos	Uso en la cocción de productos cerámicos en la industria.
Operación de hornos para fusión	Se utiliza para la operación de hornos industriales destinados a la fusión de materiales.
Generación de vapor	Utilización para la producción de vapor en procesos industriales.
Cogeneración	Producción simultánea de energía térmica y eléctrica a partir del mismo combustible.
Materia prima para fertilizantes	El gas natural se usa para hacer amoníaco, que es un material importante para fabricar fertilizantes.
Cocción doméstica	Uso en estufas y vitrocerámicas para la cocción de alimentos.
Agua caliente sanitaria (ACS)	Suministro de agua caliente de forma eficiente en el hogar.
Climatización y calefacción	Uso en sistemas de calefacción y climatización integral en hogares.
Calentamiento específico	Se utiliza en equipos especiales para calentar viviendas o agua en el hogar.

*Nota.* Pérez, J. L., & Gómez, M. A. (2022). Gas natural: tecnología y aplicaciones en la industria y el hogar.

**Tabla 17***Ventajas e inconvenientes del uso de gas natural*

Ventajas	Inconvenientes
Sencillez en el proceso de extracción.	Costos elevados asociados al transporte y almacenamiento.
Tecnología avanzada implementada.	Disponibilidad restringida de reservas.
Excelente eficiencia térmica.	Posibilidad de accidentes debido a fugas no controladas.

*Nota.* Pérez, J. L., & Gómez, M. A. (2022). Gas natural: Tecnología y aplicaciones en la industria y el hogar.

### 6.7.18 Energía Nuclear

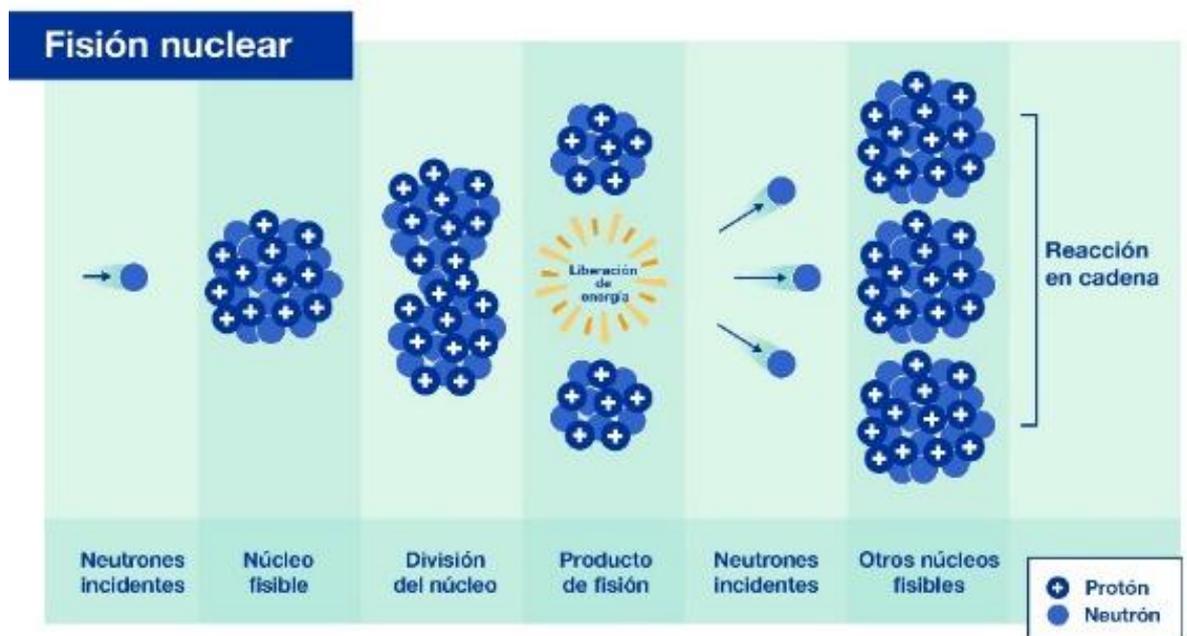
La energía nuclear es una forma de energía que se libera desde el núcleo o parte central de los átomos, el cual está formado por protones y neutrones. Esta fuente de energía puede obtenerse de dos maneras: mediante fisión (cuando los núcleos de los átomos se dividen en varias partes) o mediante fusión (cuando estos se fusionan).

#### ¿Qué es la fisión nuclear?

En el caso de la fisión nuclear, cuando un neutrón choca contra el núcleo de un átomo de uranio-235, este se rompe en dos núcleos más pequeños, como el de bario y el de criptón, y se liberan dos o tres neutrones. Estos neutrones adicionales golpean otros átomos de uranio-235 cercanos, los cuales también se rompen y producen más neutrones, creando así un efecto en cadena que ocurre muy rápidamente (ver Figura 25).

**Figura 25**

*Esquemización de la fisión nuclear*



*Nota.* García, J. A., & Martínez-Val, J. M. (2020). Fundamentos de energía nuclear.

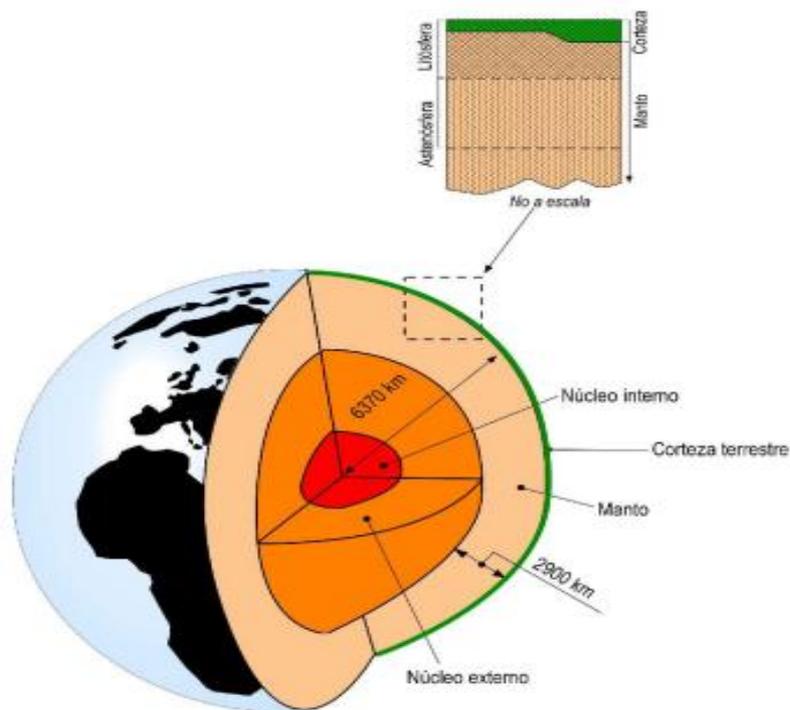
#### ¿Por qué existe la energía geotérmica?

La energía geotérmica existe gracias al calor que genera el interior de la Tierra. Este calor se produce por la descomposición de materiales radiactivos en el núcleo

terrestre, que se encuentra a más de 5000 kilómetros bajo la superficie. Esto hace que el calor fluya constantemente hacia la superficie. Se manifiesta de manera visible en zonas con actividad volcánica, donde se libera a través de géiseres, fuentes termales y fumarolas. Por esta razón, la energía geotérmica se considera una fuente renovable, dado que el calor de la Tierra es casi inagotable (Dickson y Fanelli, 2004) (ver Figura 26).

### Figura 26

*Corteza, manto y núcleo de la Tierra*



*Nota.* Tomado de *Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física*, por E. J. Tarbuck et al., 2019, Prentice Hall.

## 6.8 Manifestaciones Superficiales

Las alteraciones geotérmicas más relevantes se encuentran en áreas de actividad ígnea (volcánica) actual o reciente. Se considera reciente aquella actividad de la que existe evidencia ocurrida en los últimos años. Existen diversas manifestaciones superficiales que pueden indicar una posible anomalía geotérmica en las zonas afectadas, las cuales se clasifican de la siguiente manera (Banco Mundial, 2017):

- Volcanismo contemporáneo.
- Regiones con alteración hidrotermal.
- Emisiones gaseosas.
- Manantiales termales y minerales.
- Anomalías térmicas.

Es importante señalar que las manifestaciones superficiales no constituyen un indicador definitivo de la existencia de un gradiente geotérmico que pueda aprovecharse. Del mismo modo, la ausencia de estas señales no implica que ciertas áreas deban descartarse como posibles campos geotérmicos.

## 6.9 Indicadores de Energía Geotérmica

Son abundantes las áreas con alto gradiente geotérmico vinculadas a un volcanismo reciente, lo que hace esencial llevar a cabo un análisis geológico y volcanológico exhaustivo de la región. Este estudio debe contemplar información técnica, hidrogeológica, petrográfica y geoquímica que, tras su interpretación, resultará muy valiosa para identificar el foco calorífico (Aguilera y Paredes, 2022) (ver Figura 27).

### Figura 27

*Volcanes activos*

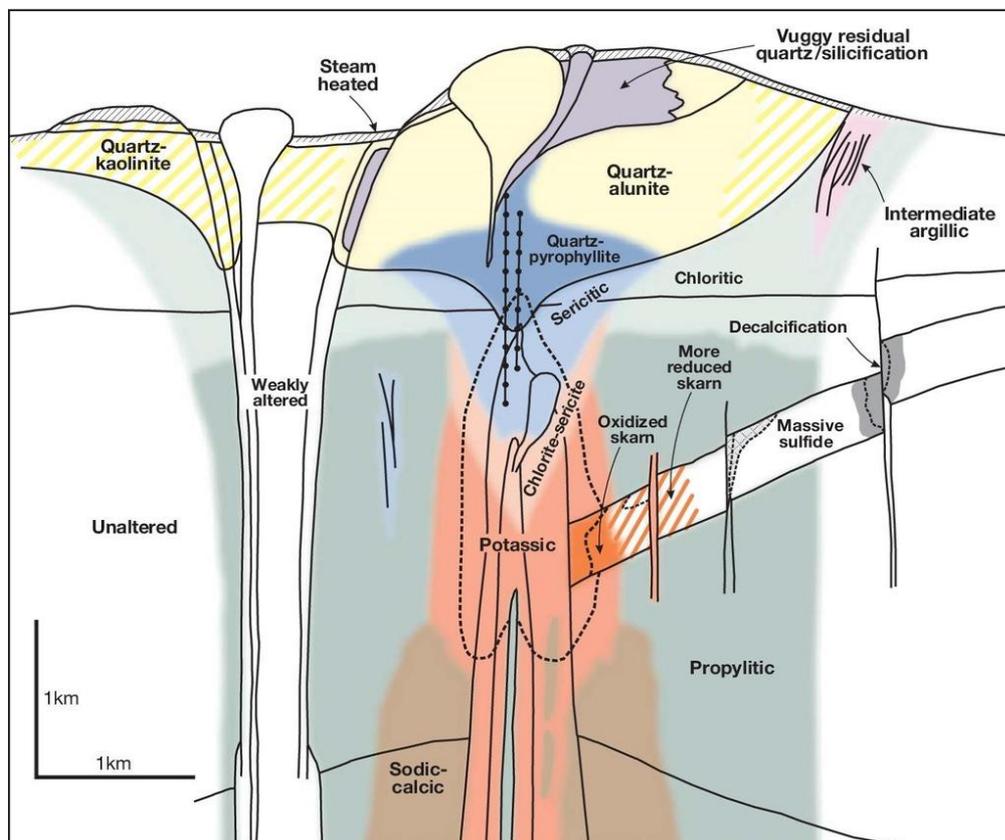


*Nota.* Tomado de *Volcanes del mundo*, por L Siebert et al., 2019, University of California Press.

En las zonas geotérmicas, es común encontrar alteraciones hidrotermales en las rocas, provocadas por la circulación de líquidos o gases a través de sus poros y fracturas, independientemente de su magnitud. Estas alteraciones se manifiestan mediante cambios químicos y mineralógicos que afectan a las rocas expuestas a estos fluidos. La identificación y delimitación de estas áreas afectadas son fundamentales para comprender las condiciones físicas y químicas bajo las cuales se formaron dichas rocas, lo que resulta invaluable en la exploración de un campo geotérmico (Banco Mundial, 2017) (ver Figura 28).

**Figura 28**

*Alteraciones hidrotermales en las rocas*



*Nota.* Data MasterGIS.

Las emisiones de gases y vapor pueden tener un significado bastante limitado. Pueden generarse sustancias volátiles simplemente a partir del calentamiento de las rocas. En otras ocasiones, estas emanaciones son de origen volcánico, ya sea vinculadas a volcanismo activo o residual (Banco Mundial, 2017) (ver Figura 29).

## Figura 29

*Emisiones de gases y vapor*



*Nota.* Meteored.

Las fuentes termales y minerales están presentes en numerosas zonas geotérmicas. Generalmente, estas áreas hidrotermales se encuentran en regiones con volcanes recientes, aunque también pueden encontrarse en lugares donde predominan otros tipos de rocas (Banco Mundial, 2017) (ver Figura 30).

### **Figura 30**

#### *Fuentes termales y minerales*



*Nota.* ¡Agua.

En resumen, los fenómenos mencionados evidencian la existencia de un potencial geotérmico cercano a la superficie, lo que representa una oportunidad para la producción de energía. Esto permite considerar que Ecuador cuenta con numerosos indicadores gracias a su ubicación geográfica.

#### **6.10 Geotermia y su Utilización “En Cascada”**

La geotermia es la disciplina científica que estudia las variaciones de temperatura dentro de la corteza terrestre y los fenómenos naturales que influyen en la distribución de los flujos térmicos. La intrusión de magmas dentro de la corteza terrestre es controlada, a escala regional, por procesos tectónicos y magmáticos globales. Con un aporte continuo de magma, estos cuerpos alcanzan un tamaño lo suficientemente grande como para generar un impacto térmico significativo en la corteza, y se considera que son responsables de la mayoría de los sistemas de convección hidrotermal de alta temperatura.

La diferencia de temperatura entre las unidades rocosas provoca que el calor acumulado se propague hasta zonas de gran contenido hídrico, transfiriendo energía a la masa de agua y dando lugar a la formación de reservorios naturales. Estos se localizan a que varían entre 500 y 2000 metros, con temperaturas que oscilan entre los 150 y 300 °C.

El aprovechamiento sustentable de estos flujos térmicos permite numerosas aplicaciones prácticas económicamente redituables o con múltiples beneficios. El término “sistema geotérmico” se utilizó originalmente para describir aguas naturalmente convectivas en la corteza superior de la Tierra, las cuales, en un espacio confinado, transfieren calor desde una fuente de calor a un disipador de energía, usualmente la superficie libre.

Este término fue posteriormente ampliado para incluir cualquier otro recurso de la Tierra del cual pueda extraerse calor de manera económicamente viable. El volumen total de roca en el que los fluidos circulan tanto dentro como fuera del reservorio, junto con la fuente de calor y la zona de descarga natural, conforman un sistema geotérmico. Sin embargo, fue solo a comienzos de este siglo cuando la explotación de los recursos geotérmicos comenzó a expandirse y desarrollarse significativamente, especialmente en regiones con alta actividad tectónica. En estas zonas, la elevada temperatura de los fluidos descargados permite su aprovechamiento, principalmente en la generación de energía eléctrica, aunque también en calefacción y diversos procesos industriales.

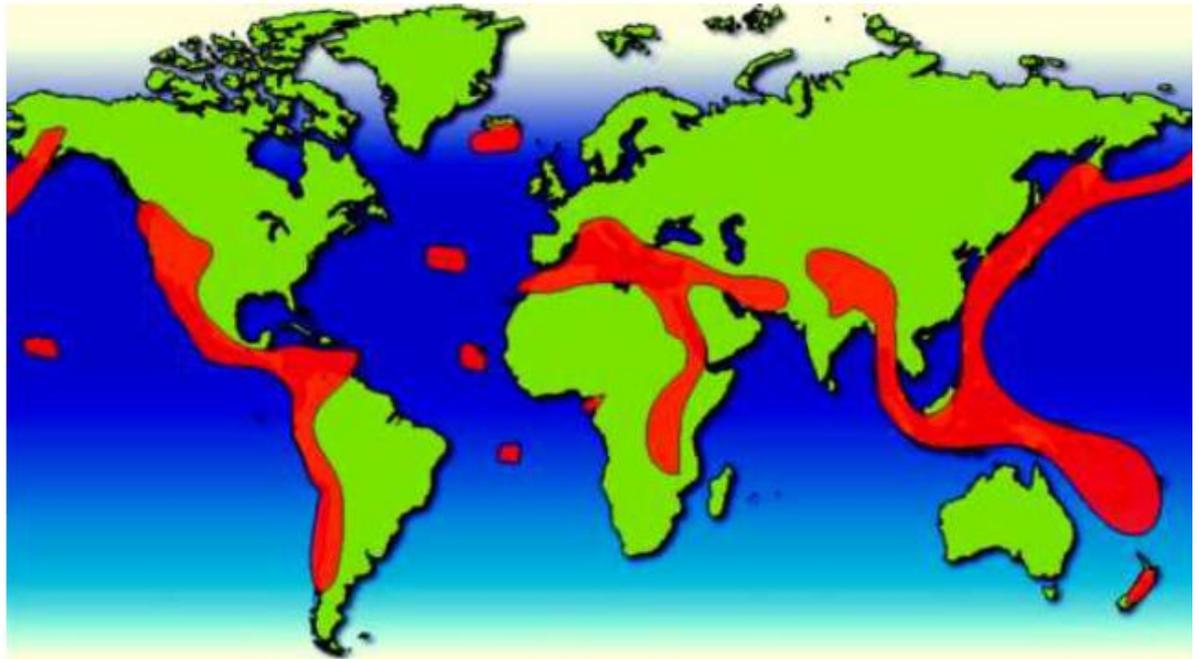
Además de la importancia científica que tiene el estudio del calor contenido en la Tierra, este también resulta fundamental como recurso energético, especialmente si se consideran las condiciones actuales de consumo creciente y la necesidad de encontrar fuentes alternas de energía. Gracias al avance de la tecnología, se ha superado varios problemas relacionados con la utilización de la energía geotérmica y, en la actualidad, es posible aprovechar sus recursos en un rango amplio de temperaturas, o bien explotarlos de manera “en cascada”, lo que implica extraer energía de los fluidos que ya han sido utilizados en alguna etapa previa de su aprovechamiento.

Por ejemplo, los fluidos desechados por una estación geotermoeléctrica, a temperaturas superiores a 100 °C, emplearse en procesos como el enlatado de alimentos, la extracción de sales y, posteriormente, en calefacción, refrigeración o invernaderos. Finalmente, cuando alcanzan temperaturas menores a 30 °C, todavía pueden utilizarse en piscinas recreativas o en criaderos de peces.

De esta manera, se logra extraer el contenido energético de los fluidos geotérmicos con la máxima eficiencia. En varios países como Nueva Zelanda y Francia, ya se implementa la utilización “en cascada” debido a que resulta económicamente más rentable (Fernández y Rojas, 2020) (ver Figura 31).

### **Figura 31**

*Zonas del mundo con recursos geotérmicos accesibles*



*Nota.* Energy Education.

### **¿Dónde está ubicado Ecuador?**

El país lleva el nombre de Ecuador debido a su ubicación en el centro del planeta, lo que le ha otorgado características muy especiales. Además, se encuentra dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, una extensa zona de volcanes, muchos de ellos potencialmente activos, los cuales rodean el océano Pacífico. La Cordillera de

los Andes forma parte integral de este cinturón y atraviesa todo el territorio ecuatoriano (Roldan, 2009).

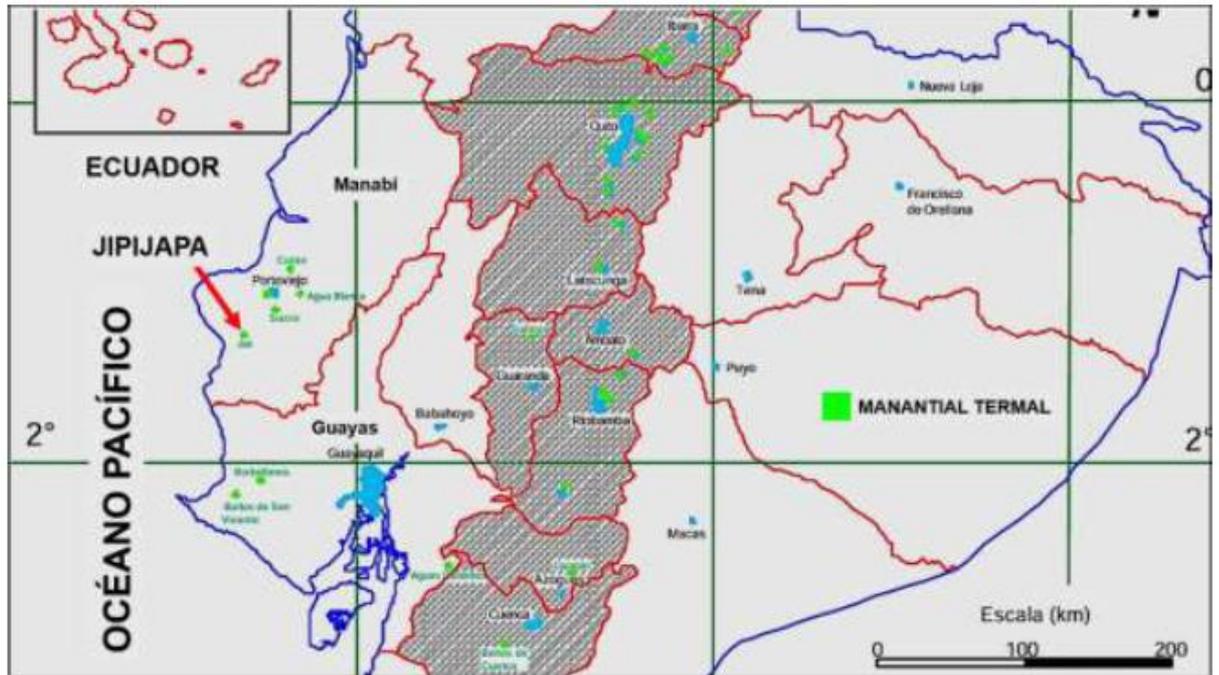
La Cordillera de los Andes cruza el Ecuador continental de norte a sur, dividiéndolo en tres regiones: Costa, Sierra y Oriente. En el territorio ecuatoriano existe una elevada concentración de aparatos volcánicos diferenciados, de edad cuaternaria a reciente, cuyos sistemas de alimentación son los que originan flujos de calor terrestre. Estas fuentes de agua caliente se localizan a lo largo de la cadena de montañas de los Andes y en áreas costeras con actividad volcánica del pasado.

En la provincia de Manabí, se conocen varias fuentes: Joa, Andil y Choconchá en el cantón Jipijapa; Agua Blanca en el cantón Sucre; Jome, cerca de la comunidad de Jome; Portoviejo en el cantón Portoviejo; El Zapallo, también en el cantón Portoviejo; El Cade en la parroquia Colón; La Peña, entre Rocafuerte y Portoviejo; y La Pajarita, entre Picoazá y la costa. En Santa Elena, destacan los Baños de San Vicente, ubicados en el kilómetro 100 de la carretera hacia la Costa, y los Borbollones, en las coordenadas 545100E, 9761600N, entre otras fuentes cercanas a la cordillera Chongón-Colonche (Almeida, 2023).

Una de las formas de producción de energía sustentable, cuyo aprovechamiento es técnicamente posible, es la que se origina en las profundidades del planeta y se transmite por conducción térmica a través de las distintas capas rocosas. En ese sentido, la energía geotérmica se define como la energía térmica obtenida de la Tierra. Esta actividad geotérmica presenta manifestaciones superficiales como fumarolas, géiseres, fracturas de vapor, erupciones hidrotermales y manantiales de agua caliente (ver Figura 32).

**Figura 32**

*Ubicación de algunas fuentes termales conocidas en Ecuador*



*Nota.* Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

Estas manifestaciones termales superficiales indican la presencia, en el subsuelo, de reservorios geotérmicos cuya energía puede utilizarse tanto para la generación de electricidad como para fines industriales. La mayoría de los países ubicados en los bordes de márgenes tectónicos activos han iniciado y desarrollado planes para la exploración y explotación de este recurso como una fuente alterna y limpia de energía sustentable. Bajo dicha lógica, Ecuador debe aprovechar esta corriente mundial, iniciada hace varias décadas, y esta constituye una de las razones fundamentales para la presentación del presente proyecto, cuyo propósito es ampliar el conocimiento de los recursos geotérmicos nacionales.

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE DATOS ESTADÍSTICOS**

Este capítulo presenta un análisis detallado de los datos estadísticos relevantes para la provincia de Manabí, Ecuador, con un enfoque progresivo en el cantón Jipijapa, donde se propone implementar un sistema de desalinización de agua de mar mediante energía geotérmica.

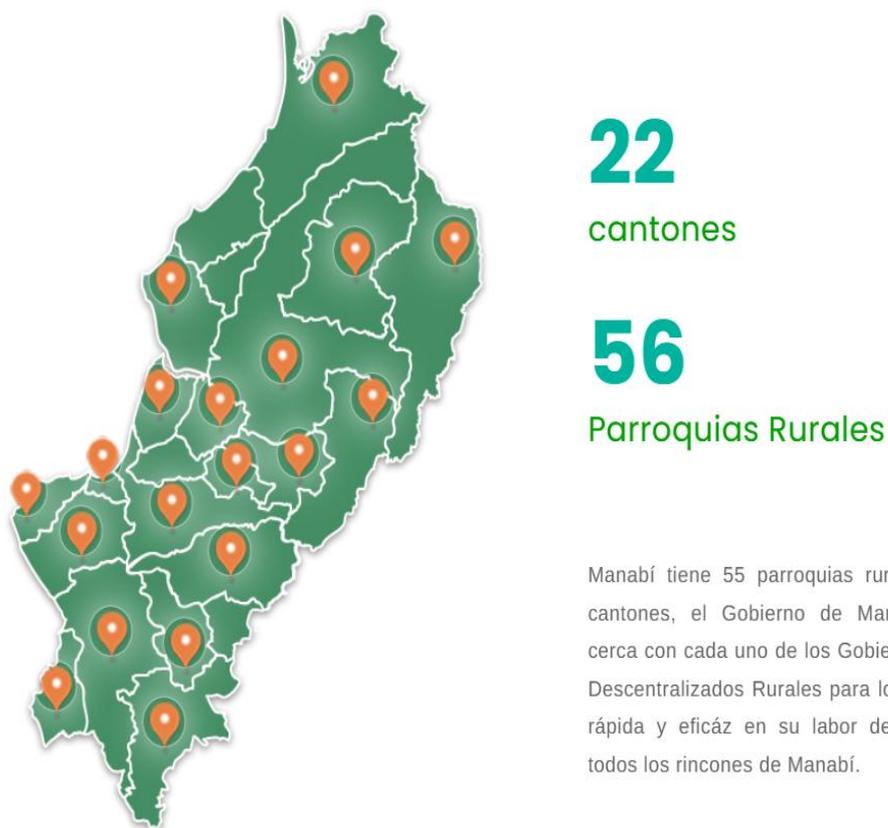
Se abordan aspectos como la población, el clima, la información importante y los principales retos que enfrentan los habitantes en el acceso a agua limpia. Todos los datos provienen de fuentes confiables, como el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), investigaciones realizadas por universidades y documentos especializados en medio ambiente. Esto proporciona una base sólida para sustentar la necesidad de buscar soluciones duraderas en la zona (Sánchez y Guangasig, 2023).

### **7.1 Contexto General de la Provincia de Manabí**

Manabí, ubicada en la costa del Pacífico de Ecuador, es una de las provincias más pobladas y de mayor importancia agrícola del país. Su diversidad climática y geográfica la convierte en un área estratégica para enfrentar los problemas de escasez de agua y promover soluciones innovadoras como la desalinización con energía geotérmica (Cuenca et al., 2025) (ver Figura 33).

**Figura 33**

*Manabí y sus divisiones geográficas*



*Nota.* Prefectura de Manabí.

### 7.1.1 Población de Acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censos

**Tabla 18**

*Población de Manabí*

Año	Población	Tasa de crecimiento anual	Distribución de género	Edad mediana	Densidad poblacional	Superficie
2010	1 369 780	-	-	-	-	18 878 km <sup>2</sup>
2015	1 490 615	1,3 % (promedio 2010-2020)	50,3 % hombres y 49,7 % mujeres	24,5 años	78,3 habitantes/km <sup>2</sup>	18 878 km <sup>2</sup>
2020	1 562 079 (proyectada)	1,3 %	-	-	-	18 878 km <sup>2</sup>

*Nota.* Instituto Nacional de Estadística y Censos

Este crecimiento poblacional incrementa la demanda de recursos hídricos, especialmente para el consumo humano, la agricultura y la ganadería, sectores clave en la economía de Manabí.

### **7.1.2 Clima**

La provincia presenta un clima tropical de sabana (clasificación Aw), con estaciones seca y húmeda bien definidas:

- Temperatura: el promedio anual es de 25,5 °C, con máximas de 30 °C en la temporada húmeda (enero-abril) y mínimas de 20 °C en la temporada seca (mayo-diciembre). Los meses más cálidos son febrero y marzo, con temperaturas promedio de 27-29 °C.
- Precipitación: la precipitación anual promedio es de 600-800 mm, con un máximo en la temporada húmeda (enero-abril, hasta 150 mm/mes) y un mínimo en la temporada seca (julio-septiembre, <20 mm/mes). La variabilidad climática, intensificada por fenómenos como El Niño, puede generar periodos de sequía o inundaciones.
- Humedad relativa: oscila entre 70-85 %, con mayores valores en la temporada húmeda.

Estas condiciones climáticas afectan la disponibilidad de agua dulce, especialmente en la temporada seca, cuando los ríos y las fuentes subterráneas disminuyen su caudal.

### **7.2 Datos Relevantes**

- Economía: Manabí es una provincia cuya base productiva es la agricultura, destacando cultivos como maíz, café, cacao y plátano. En la zona costera también se desarrollan actividades pesqueras. La agricultura representa aproximadamente el 30 % del Producto Interno Bruto (PIB) de la provincia.
- Recursos hídricos: la provincia utiliza ríos como el Chone y el Portoviejo; sin embargo, muchos de estos presentan problemas de contaminación y están sujetos a una explotación superior a su capacidad de renovación.

Asimismo, los acuíferos subterráneos se encuentran bajo presión debido a la sobreextracción.

- Infraestructura hídrica: según INEC-2010, solo el 65% de los hogares en Manabí contaban con acceso a agua potable a través de la red pública, porcentaje que resulta menor en áreas rurales.

### **7.3 Problemas con el Agua**

- Falta de agua dulce: las fuentes de agua dulce son poco abundantes, especialmente durante la época seca, lo que afecta tanto a las comunidades rurales como a las urbanas.
- Contaminación: los ríos y acuíferos se encuentran gravemente contaminados debido al uso de pesticidas en la agricultura y a las descargas de las industrias, lo que empeora la calidad del agua disponible.
- Uso excesivo de pozos: la sobreexplotación de los pozos ha provocado la salinización de los acuíferos, especialmente en las zonas cercanas a la costa, agravando la escasez hídrica.
- Efectos de fenómenos climáticos: eventos como El Niño provocan inundaciones que ensucian las fuentes de agua, mientras que las sequías hacen que haya menos agua disponible.

### **7.4 Enfoque en el Cantón Jipijapa**

Jipijapa, uno de los 22 cantones de Manabí, es una localidad costera con características que la convierten en un lugar idóneo para estudiar la viabilidad de la desalinización con energía geotérmica, gracias a su cercanía al mar y su potencial geotérmico.

### 7.4.1 Población

**Tabla 19**

*Datos poblacionales*

Año	Población	Tasa de crecimiento anual	de Distribución poblacional	Densidad poblacional	Superficie
2010	71 083	-	-	-	1.470 km <sup>2</sup>
2020	74 000 (estimada)	0,8 %	40 % urbana, 60 % rural	50 habitantes/km <sup>2</sup>	1.470 km <sup>2</sup>

*Nota.* Instituto Nacional de Estadística y Censos.

### 7.4.2 Clima

- Jipijapa comparte el clima tropical de sabana de Manabí, con una temperatura promedio de 25-26 °C y variaciones estacionales similares:
  - Temporada húmeda (enero-abril): temperaturas de 26-30 °C, precipitaciones de 100-150 mm/mes.
  - Temporada seca (mayo-diciembre): temperaturas de 22-25 °C, precipitaciones mínimas (<20 mm/mes).
- La humedad promedio es de 75 a 80 %, y durante la temporada húmeda sube aún más.
- La proximidad al océano Pacífico ayuda a que las temperaturas sean más suaves, pero en la temporada seca no llueve mucho, lo que hace que sea difícil llenar los acuíferos.

### 7.4.3 Datos Relevantes

- Economía local: Jipijapa es reconocida por la producción de café, cacao, maíz y tagua, además de la pesca artesanal. La agricultura necesita riego, lo que aumenta la demanda de agua.
- Recursos geotérmicos: estudios señalan que la región presenta un elevado gradiente geotérmico, estimado entre 30 y 50 °C por kilómetro, asociado a la actividad sísmica de la costa ecuatoriana. Este potencial resulta especialmente relevante para la implementación de proyectos de desalinización de agua.

- Acceso al agua: según datos locales, solo el 55 % de los hogares en Jipijapa tienen acceso a agua potable mediante red pública, cifra que desciende al 30 % en las zonas rurales.

#### **7.4.4 Problemas con el Agua**

- Escasez estacional: durante la temporada seca, los ríos locales, como el río Jipijapa, tienen menos agua, y los pozos subterráneos no pueden cubrir la demanda.
- Salinización de acuíferos: la cercanía al mar ha causado que el agua salada ingrese a los pozos cercanos a la costa, lo que afecta la calidad del agua para beber y regar cultivos. Infraestructura deficiente: el sistema que distribuye el agua potable es muy limitado, con tuberías antiguas que pierden mucha agua, alrededor del 40 % en total.
- Dependencia de agua de mar no tratada: algunas comunidades utilizan agua del mar para tareas que no requieren agua potable, lo que evidencia la necesidad de implementar tecnologías para convertir el agua de mar en apta para beber.
- Impacto socioeconómico: la escasez de agua potable afecta la salud, causando enfermedades como las gastrointestinales, y también reduce la producción agrícola, lo que aumenta la pobreza en zonas rurales.

#### **7.5 Análisis de la Problemática Hídrica en Jipijapa**

El análisis de los datos estadísticos evidencia que Jipijapa atraviesa una crisis de agua que afecta sus servicios básicos, agravada por el incremento poblacional, los cambios en el clima y la carencia de instalaciones adecuadas. El agua de mar cercana a la costa de Jipijapa presenta una salinidad de aproximadamente 35 gramos por litro y una densidad promedio de 1.025 gramos por centímetro cúbico, lo que sugiere que convertirla en agua potable mediante desalinización es una opción realista.

No obstante, los elevados costos energéticos de tecnologías como la ósmosis inversa o la destilación térmica requieren fuentes de energía sostenibles. En este

escenario, la energía geotérmica emerge como una alternativa prometedora debido al potencial geotérmico de la región.

- Demanda de agua: se estima que cada habitante necesita al menos 50 litros de agua potable por día. Para los 74 000 habitantes de Jipijapa, esto equivale a una demanda diaria de 3,7 millones de litros, de los cuales solo una parte se cubre actualmente.
- Capacidad actual: la infraestructura existente suministra aproximadamente 1,5 millones de litros diarios, dejando una pérdida de 2,2 millones de litros.
- Solución propuesta: un sistema de desalinización con energía geotérmica podría producir entre 500 000 y 1 000 000 de litros diarios (dependiendo de la escala), cubriendo parcialmente este déficit y reduciendo la dependencia de fuentes no sostenibles.

## **7.6 Justificación para la Desalinización con Energía Geotérmica**

Los datos evidencian la necesidad urgente de solucionar la escasez de agua en Jipijapa. La combinación del crecimiento poblacional, las intensas temporadas de sequía y la salinidad de las fuentes subterráneas convierte a la desalinización en una opción viable. Integrar este proceso con el uso de la desalinización permite aprovechar un recurso renovable de la zona, reducir los costos operativos (hasta en un 30–40 % frente al uso de combustibles tradicionales) y, al mismo tiempo, contribuir a la protección del medio ambiente. Esto resulta especialmente relevante si se considera que el 80 % de los hogares rurales carece de acceso seguro a agua potable.

## **7.7 Contaminación del Agua de Manabí**

En la provincia de Manabí, los problemas de contaminación del agua son graves y afectan tanto a los ríos y esteros como a las fuentes subterráneas. Esta situación se debe principalmente a las descargas de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales sin un tratamiento adecuado, sumado a la deficiente infraestructura para el saneamiento. En las zonas rurales y en la periferia de las ciudades, gran parte de las viviendas no cuenta con sistemas adecuados de alcantarillado, lo que provoca que las aguas residuales se viertan directamente en

cuerpos hídricos, deteriorando la calidad del agua destinada al consumo humano y a las actividades productivas.

Estudios realizados en cuencas hidrográficas como la del río Portoviejo evidencian altos niveles de coliformes fecales y la presencia de metales pesados, lo que representa un riesgo sanitario considerable para las comunidades. Además, el uso indiscriminado de agroquímicos en zonas agrícolas, como en los cantones de Rocafuerte y Tosagua, ha contribuido a la contaminación difusa, afectando tanto los cuerpos de agua superficiales como las napas freáticas

La ausencia de políticas integrales para gestionar el agua y la escasa supervisión del medio ambiente empeoran esta situación. Por esta razón, el acceso a agua limpia y segura se vuelve cada vez más limitado, especialmente en temporadas secas o durante sequías prolongadas, lo que pone en peligro el desarrollo sostenible de la zona (Fondo para el Logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio [F-ODM], 2018).

## **7.8 Influencia del Agua para Manabí**

El agua es fundamental para el desarrollo social, económico y ambiental de la provincia de Manabí. Su disponibilidad y calidad afectan directamente a áreas como la agricultura, la ganadería, la pesca artesanal y el suministro de agua para el hogar. Gran parte del territorio presenta clima seco, lo genera dificultades para administrar bien el agua, especialmente en los meses de sequía, lo cual impacta en la seguridad alimentaria y la economía local (Briones, 2025)

En las zonas rurales, el riego es esencial para cultivos como maíz, arroz y hortalizas; sin embargo, la escasez de agua provoca pérdidas significativas en las cosechas. En las ciudades, el acceso a agua limpia no siempre es constante, y muchas comunidades recurren a fuentes de agua superficial o pozos que no cumplen con los estándares de calidad. Además, los ecosistemas de las costas y los estuarios, como los manglares de San Vicente y Chone, dependen del equilibrio del agua para su protección, lo cual muestra la importancia de una gestión sostenible y coordinada del recurso hídrico.

Cabe destacar que el agua también influye en aspectos sociales y culturales, dado que es esencial para la vida diaria, las costumbres de las comunidades y la salud de la gente. Por ello, su cuidado y gestión adecuada son fundamentales para el bienestar y la capacidad de resistir frente a los desafíos de la población de Manabí.

### **7.9 Ausencia de Agua Potable en la Provincia de Manabí: una Problemática Estructural**

La provincia enfrenta de manera constante problemas en el acceso a agua limpia, especialmente en zonas rurales y en los alrededores de las ciudades. A pesar de ser una región con mucha actividad agrícola y una cantidad importante de personas, la disponibilidad de agua segura es muy baja, lo que pone en riesgo la salud de la población y limita el crecimiento sostenible.

Una de las principales causas de esta problemática es la debilidad de la infraestructura hídrica, asociada tanto a la suficiente e inversión como a los daños ocasionados por desastres naturales, como el terremoto de 2016 y las prolongadas sequías. Muchas comunidades dependen de fuentes sin tratamiento adecuado, como ríos, esteros o pozos, lo que las expone a bacterias, virus y sustancias químicas perjudiciales. Además, la forma en que se gestiona el agua a nivel local ha creado diferencias en cómo se provee el servicio, particularmente en lugares como Tosagua, Rocafuerte y Jipijapa.

Investigaciones recientes muestran la presencia de bacterias fecales y alto niveles de turbidez en las fuentes de agua utilizadas para el consumo humano, lo que afecta la salud y provoca enfermedades como diarrea, cólera y parasitosis. La carencia de instalaciones adecuadas para la purificación del agua y la limitada supervisión de su calidad representan desafíos urgentes para las autoridades locales y nacionales (Zambrano et al., 2022).

Frente a esta situación, resulta imprescindible implementar políticas públicas que garanticen el acceso justo al agua potable como un derecho fundamental, con más inversiones en infraestructura, tratamiento y educación para que las comunidades entiendan cómo usar y proteger el agua.

### ***7.9.1 Dificultades para Obtener Agua en Manabí***

El acceso al agua en la provincia de Manabí presenta múltiples dificultades estructurales, ambientales y sociales que afectan a su población, especialmente en zonas rurales y marginales. A pesar de contar con fuentes hídricas superficiales como ríos, esteros y acuíferos subterráneos, la disponibilidad funcional de agua segura y continua es limitada. Esta paradoja responde a una combinación de factores que incluyen escasez estacional, contaminación, infraestructura deficiente y una gestión fragmentada del recurso hídrico.

Uno de los principales desafíos es la variabilidad climática, con temporadas de sequía prolongadas que disminuyen los caudales de ríos y el nivel de los pozos. En comunidades como las de la zona sur de Manabí, esta situación obliga a las familias a depender de tanqueros privados o acarrear agua desde largas distancias, lo cual eleva los costos económicos y de tiempo (Coral, 2024).

Además, la infraestructura de distribución es limitada o inexistente en muchas localidades. Sistemas de agua obsoletos, tuberías deterioradas y plantas de tratamiento ineficientes impiden una distribución equitativa y segura. La ausencia de un mantenimiento adecuado genera cortes constantes del servicio y obliga a numerosas familias a almacenar agua en condiciones que comprometen su calidad sanitaria. A esto se suma la contaminación de las fuentes de agua por aguas residuales, actividades agrícolas sin control de agroquímicos y desechos sólidos, lo que hace que muchas fuentes naturales no sean aptas para el consumo humano. La falta de monitoreo y vigilancia efectiva de la calidad del agua profundiza esta problemática.

Estas dificultades no solo afectan la salud y calidad de vida de los habitantes, sino que también limitan la productividad agrícola, obstaculizan la educación (especialmente de niñas y niños que deben colaborar en la recolección del recurso), y profundizan las desigualdades territoriales en acceso a servicios básicos.

### ***7.9.2 Costo por el Tratamiento de Agua para Potabilizarla***

#### **Tabla 20**

*Costo por tratamiento*

Método	Costo aproximado por m <sup>3</sup>	Escala recomendada
Cloración	\$ 0,01 – \$ 0,05	Doméstico / Comunitario
Filtración (arena)	\$ 0,02 – \$ 0,10	Doméstico / Rural
Luz UV	\$ 0,05 – \$ 0,20	Doméstico
Coagulación/Sedimentación	\$ 0,10 – \$ 0,30	Comunitario / Municipal
Ósmosis inversa	\$ 0,50 – \$ 1,00	Industrial / Urbano

*Nota.* PORTOAGUAS EP.

### **7.10 Crecimiento Demográfico en la Provincia de Manabí**

La provincia de Manabí, ubicada en la costa del Ecuador, ha experimentado un crecimiento de población constante durante las últimas cinco décadas, aunque el ritmo y la distribución han cambiado con el tiempo. Según el INEC, la población pasó de aproximadamente 730 000 habitantes en 1974 a más de 1 600 000 en 2022, lo que significa un incremento del 119 % en medio siglo.

Este aumento responde a varios factores:

- Alta tasa de natalidad, especialmente en las décadas anteriores, cuando las familias rurales tenían más hijos.
- Migración interna dentro de la provincia, con ciudades como Portoviejo, Manta y Chone que recibieron a muchas personas que huían de las áreas rurales buscando trabajo y mejores servicios.
- Reconstrucción y repoblamiento después del terremoto de 2016, que causó desplazamientos temporales de habitantes dentro de la provincia.

Durante los años 1980 y 2000, el crecimiento fue más rápido, impulsado por el desarrollo de la agroindustria, la pesca y el comercio. Sin embargo, en las últimas dos décadas, el crecimiento poblacional ha disminuido, en línea con la transición demográfica del país, caracterizada por la reducción en el número de hijos por familia y cambios la estructura familiar.

Este proceso ha tenido efectos significativos en la sociedad y el medio ambiente, como más presión sobre los recursos naturales, dificultades para garantizar servicios básicos como el agua potable, y un desarrollo urbano desordenado. Por ejemplo, ciudades como Manta y Portoviejo han crecido mucho, pero con áreas periféricas mal planificadas y con pocos servicios, lo que genera problemas para una ciudad sostenible.

De acuerdo con las proyecciones del INEC, para el año 2050, Manabí podría tener más de 2 millones de personas, con una mayor concentración en las ciudades costeras.

Este futuro requiere un plan de desarrollo territorial completo, que priorice el acceso justo a la salud, la educación, el agua, el empleo y la vivienda digna.

## **7.11 Provincias y Cantones que Poseen Agua Salada de Ecuador**

En el Ecuador, la presencia de agua salada se encuentra principalmente en las regiones costeras y marítimas, donde interactúan ecosistemas marinos, estuarinos y costeros con una diversidad biológica y funcional de gran relevancia. Las fuentes de agua salada están concentradas en las provincias que limitan con el océano Pacífico, así como en áreas donde se desarrollan sistemas de manglares, estuarios, salinas (naturales o artificiales) y zonas marinas protegidas.

### ***7.11.1 Provincias con Presencia de Agua Salada***

Las principales provincias ecuatorianas que poseen cuerpos de agua salada son:

#### ***7.11.2 Esmeraldas***

Limita al norte con Colombia y al oeste con el océano Pacífico. Posee extensas zonas de manglares (como el Estuario del río Mataje y el Cayapas), que son ecosistemas de transición entre agua dulce y salada. El cantón San Lorenzo destaca por su red de estuarios salinos y biodiversidad marina.

#### ***7.11.3 Manabí***

Cuenta con una larga franja costera que incluye bahías, playas, estuarios y zonas intermareales. Cantones como Manta, Jaramijó, Sucre (Bahía de Caráquez), San

Vicente y Jama presentan interacción directa con el mar, y algunos sectores poseen salinas naturales y marismas costeras.

#### ***7.11.4 Santa Elena***

En esta provincia se encuentran las Salinas de Santa Elena, una de las zonas más conocidas por la explotación de sal a partir de agua marina evaporada. El cantón Salinas es eminentemente costero y turístico, con aguas saladas tanto en mar abierto como en ensenadas y lagunas costeras.

#### ***7.11.5 Guayas***

Además del golfo de Guayaquil, alberga extensos sistemas de manglares y estuarios salobres, particularmente en los cantones Guayaquil, Naranjal, General Villamil Playas y Daule (cerca del estuario del río Guayas). Estos cuerpos de agua salada poseen una salinidad variable, pero siguen siendo fundamentales para la pesca y la acuicultura.

#### ***7.11.6 El Oro***

Ubicada al sur del litoral, limita también con el Pacífico. El cantón Santa Rosa presenta cuerpos de agua salada en áreas de marismas y manglares, especialmente en zonas cercanas al estuario del río Arenillas.

#### ***7.11.7 Galápagos***

Este archipiélago constituye un ecosistema marino insular único, compuesto exclusivamente por aguas saladas oceánicas. Todas las islas del archipiélago, como San Cristóbal, Santa Cruz, Isabela y Floreana, están rodeadas por el océano y presentan una alta diversidad marina.

### **7.12 Tipos de Cuerpos de Agua Salada**

Los tipos de cuerpos de agua salada presentes en Ecuador incluyen:

- Océano abierto: cubre la zona económica exclusiva del Ecuador, de alto valor pesquero.

- Estuarios: zonas de mezcla entre agua dulce y salada, muy productivas biológicamente.
- Manglares: ecosistemas costeros salinos clave para la biodiversidad y la economía.
- Salinas: cuerpos de agua hipersalinos naturales o artificiales utilizados para la producción de sal.
- Lagunas costeras: como las presentes en zonas de El Oro y Santa Elena, sujetas a influencia marina.

### **7.13 Relevancia Ecológica y Económica**

Los cuerpos de agua salada tienen gran importancia en Ecuador por varias razones:

- Ecológica: albergan especies endémicas y migratorias, como crustáceos, peces, aves y reptiles marinos. Son zonas de desove y alimentación clave.
- Económica: sustentan actividades como la pesca artesanal, la acuicultura camaronera, el turismo costero y la producción de sal.
- Social: muchas comunidades dependen directamente de estos recursos marinos para su subsistencia.

### **7.14 Retos y Amenazas**

A pesar de su importancia, los cuerpos de agua salada en Ecuador enfrentan presiones ambientales por:

- Contaminación industrial y doméstica, especialmente en estuarios urbanos como el de Guayaquil.
- Expansión camaronera sin control ambiental.
- Erosión costera y cambio climático, que afectan la salinidad y estructura de los hábitats.

### **7.15 Volcán Chocotete: Caracterización Geológica, Ecológica y Sociocultural de un Volcán Inactivo en la Costa Ecuatoriana**

El volcán Chocotete, ubicado en el cantón Jipijapa de la provincia de Manabí, representa una singularidad geológica en la región litoral del Ecuador. En contraste con los volcanes activos de la Sierra andina, este volcán se considera inactivo o apagado, y es uno de los pocos que se localizan en la zona costera sudamericana. Su estudio reviste importancia debido a su origen volcánico, su ecosistema de transición entre bosque seco y húmedo, además de su papel en la identidad cultural y el ecoturismo local.

Este volcán se ubica en la comunidad de La Joa, a unos 7 km al suroeste de la ciudad de Jipijapa. Forma parte del sistema montañoso Chongón-Colonche, el cual está compuesto por formaciones de origen volcánico y sedimentario, con edades que datan del Mioceno-Plioceno. La estructura del Chocotete presenta un relieve piramidal con una altura aproximada de 400 metros sobre el nivel local, compuesto principalmente por roca volcánica erosionada.

Aunque no existen registros históricos de erupciones, la tradición oral menciona una presunta actividad eruptiva ocurrida hace “muchos siglos”, lo que sugiere un origen geológico antiguo. Su morfología se asemeja a la de otros conos volcánicos inactivos, con un cráter colapsado y laderas de roca suelta.

El área donde se encuentra el volcán presenta un clima tropical seco, con una temperatura promedio anual de 24-30 °C y una precipitación estacional concentrada entre enero y abril. Este entorno climático ha permitido el desarrollo de ecosistemas de bosque seco tropical, considerados altamente amenazados y de gran valor ecológico.

Entre la flora, se identifican especies adaptadas a condiciones de aridez como las siguientes:

- Ceibo (*Ceiba trichistandra*).
- Algarrobo (*Prosopis juliflora*).
- Palo santo (*Bursera graveolens*).
- Cactus (*Opuntia spp.*).

La fauna del área incluye aves como aguiluchos y loros, pericos, así como mamíferos pequeños como ardillas, guantas y guatusos. Esta biodiversidad ha sido objeto de interés por parte de investigadores en biología tropical y conservación de ecosistemas secos.

Uno de los elementos más notables del Chocotete son los manantiales de aguas sulfurosas que emergen en su base. Estas aguas, de color verde oscuro y con olor característico a azufre, son utilizadas tradicionalmente por pobladores de la zona para aliviar dolencias óseas, musculares y cutáneas. Aunque no existen estudios hidroquímicos sistemáticos publicados, su existencia confirma una conexión con procesos geotermales antiguos.

El potencial terapéutico y turístico de estas aguas convierte al Chocotete en un punto de interés para el desarrollo de turismo, bienestar y exploraciones en salud natural. Además, el volcán ha cobrado importancia como destino emergente para actividades de senderismo, escalada, contemplación de flora y fauna y ciclismo de montaña. El ascenso, de dificultad media, puede completarse en menos de una hora, lo que permite la visita por turistas locales y nacionales.

Adicionalmente, las comunidades cercanas han fomentado el ecoturismo como una alternativa de desarrollo sostenible. Sin embargo, aún existe escasa infraestructura turística y el acceso depende de caminos secundarios. La zona no está legalmente protegida como área de conservación, lo que la hace vulnerable a amenazas como la deforestación, el pastoreo extensivo, la extracción ilegal de madera y el abandono institucional.

Desde una perspectiva científica, el volcán Chocotete ofrece una oportunidad valiosa para estudios en:

- Geología volcánica y geomorfología costera.
- Transición ecológica entre zonas áridas y húmedas.
- Interacción de comunidades con recursos naturales locales.

Culturalmente, el volcán Chocotete ocupa un lugar destacado en las leyendas locales de la parroquia La Joa, con relatos sobre su erupción y sus poderes curativos, lo que contribuye a fortalecer la identidad territorial.

El Chocotete constituye un sistema geológico importante por su valor natural, ecológico y cultural. Al estar ubicado cerca de las costas, es un lugar único para estudiar en Ecuador. Alberga manantiales con sulfuros, con una notable biodiversidad adaptada al bosque seco tropical y un importante potencial turístico, lo que lo convierte en un recurso clave para el desarrollo sostenible de Jipijapa y las áreas cercanas.

Para proteger este lugar, es necesario un mayor compromiso institucional que permita declararlo como zona protegida, impulsar el turismo ecológico responsable y la educación ambiental a través de proyectos que involucren a la comunidad.

## **7.16 La Cordillera de Carnegie y su Influencia en el Potencial Geotérmico del Ecuador**

La Cordillera de Carnegie es una prominente dorsal oceánica asísmica formada por el punto caliente de las Islas Galápagos, que se extiende desde el archipiélago hacia el este hasta subducirse bajo la costa ecuatoriana. Su espesor anómalo y su composición volcánica generan importantes efectos tectónicos y térmicos en la región, influyendo en la actividad sísmica, el vulcanismo y el flujo de calor terrestre.

El aumento de la población y las presiones ambientales derivadas del uso de combustibles fósiles han intensificado la búsqueda de fuentes de energía sostenibles. En este marco, la energía geotérmica, debido a su bajo impacto ambiental, alta disponibilidad y carácter renovable, se perfila como una opción viable. En Ecuador, uno de los países más activos sísmica y volcánicamente del mundo, el potencial geotérmico está fuertemente influido por procesos tectónicos, siendo la Cordillera de Carnegie un actor fundamental en este escenario.

### ***7.16.1 Origen y Evolución de la Cordillera de Carnegie***

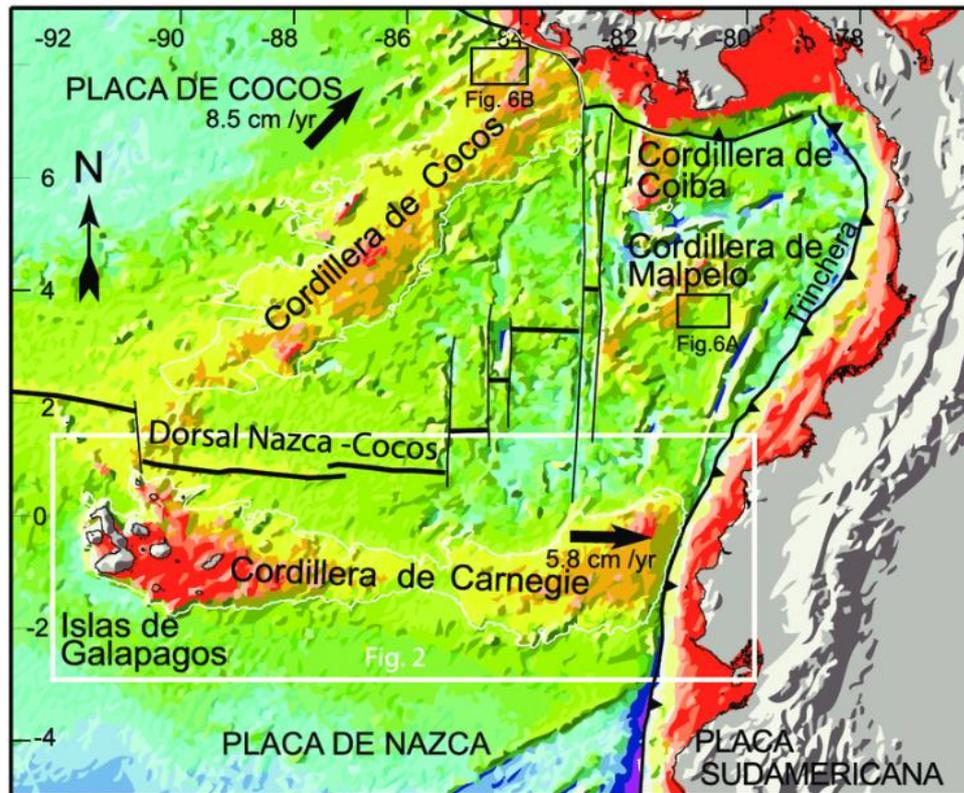
La Cordillera de Carnegie es una dorsal submarina que forma parte del fondo del océano Pacífico oriental. Se extiende aproximadamente entre 1 000 y 1 700 km desde las Islas Galápagos hasta la fosa de Colombia-Ecuador. Su origen se relaciona con la interacción entre la placa de Nazca y el punto caliente de las Galápagos durante los últimos 20 millones de años, formándose como una serie de acumulaciones volcánicas en el fondo marino.

A diferencia de la corteza oceánica normal, que tiene un espesor promedio de 7 km, la Cordillera de Carnegie cuenta con un espesor diferente que va entre 13 y 19 km (Hey,1977). Esto significa que su corteza es más caliente y menos densa. La historia geológica indica que las partes más al oeste son más antiguas, mientras que las de la parte este son más recientes, lo que evidencia que el punto caliente se ha movido hacia el este bajo la placa de Nazca.

La Cordillera está compuesta principalmente por enriquecidos en elementos característicos de magmas de punto caliente y se desplaza hacia el este junto con la placa de Nazca, hasta encontrarse con la placa Sudamericana (ver Figura 34).

**Figura 34**

*Cordillera de Carnegie*



*Nota.* ResearchGate - François Michaud.

### 7.17 Subducción y Efectos sobre la Tectónica Regional

La subducción de la Cordillera de Carnegie bajo la costa ecuatoriana constituye un fenómeno tectónico único en la región. Debido a que la dorsal es más gruesa y menos densa que la corteza oceánica típica, ofrece una resistencia adicional a la subducción, lo que produce deformaciones en la corteza continental.

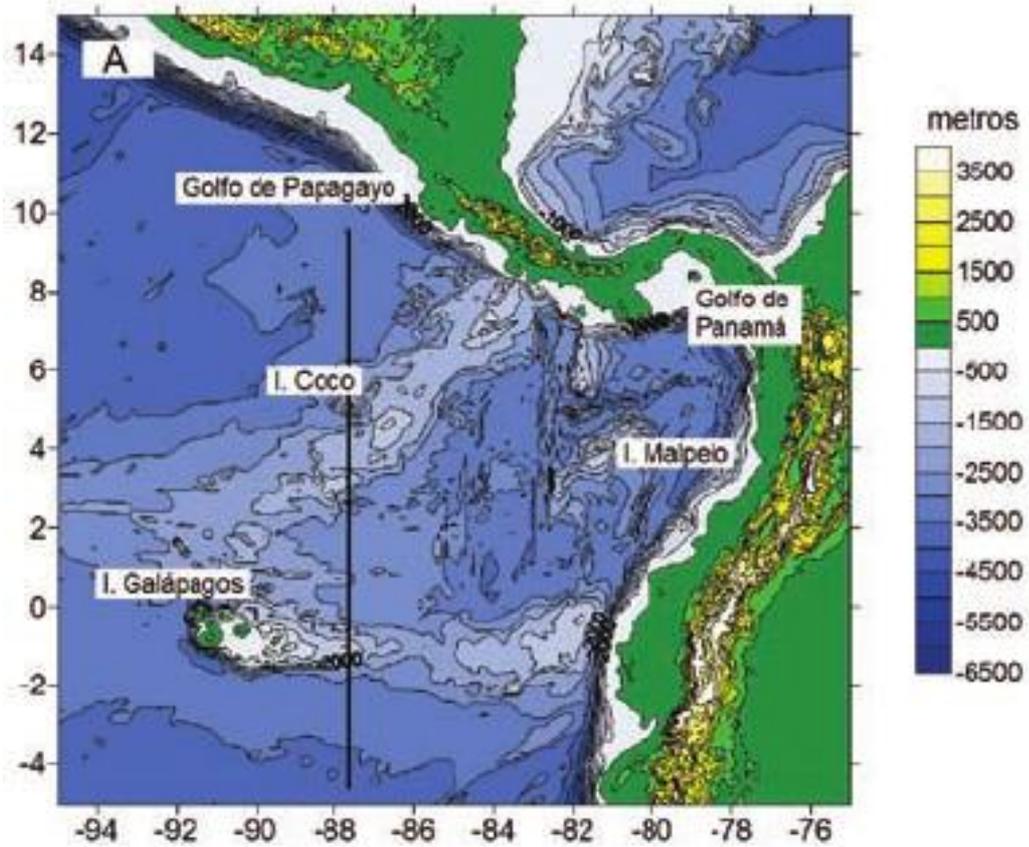
Los principales efectos de esta interacción son:

- Elevación topográfica en la costa y en la Cordillera Occidental.
- Formación y reactivación de fallas y fracturas.
- Intensificación del vulcanismo andino.
- Aumento de la sismicidad en el margen continental.

Estos procesos explican la complejidad estructural de Ecuador, un territorio donde convergen altas tasas de subducción, fallas transcurrentes activas y vulcanismo reciente (ver figuras 35 y 36).

**Figura 35**

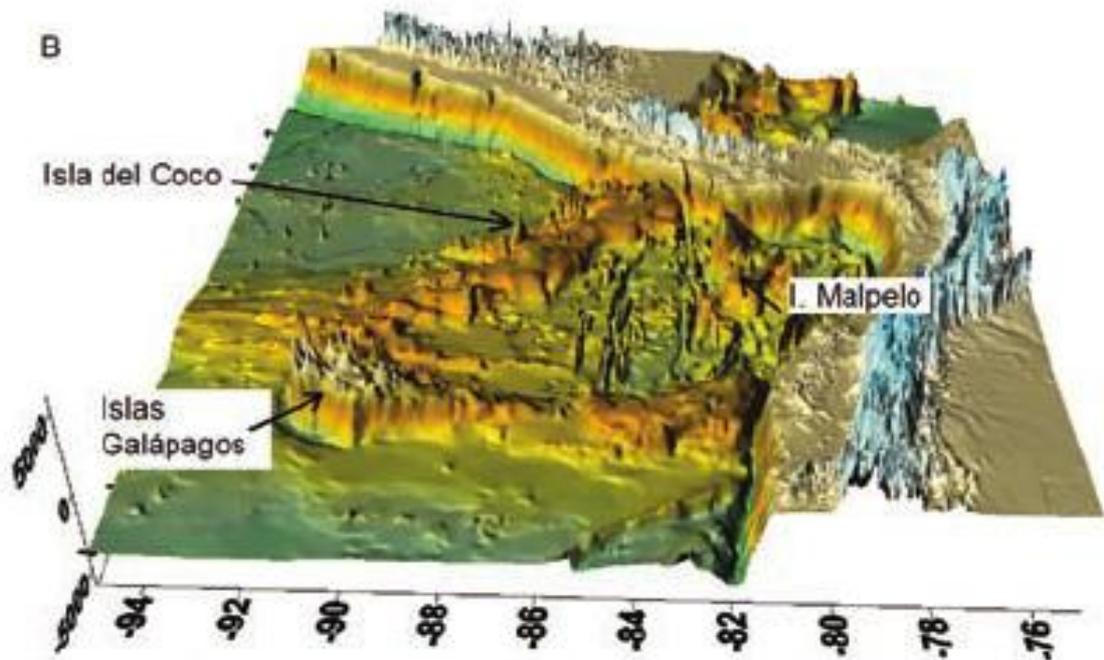
*Relieve topográfico, Cordillera de Carnegie en dos dimensiones*



*Nota.* ResearchGate - François Michaud.

**Figura 36**

*Relieve topográfico, Cordillera de Carnegie en tres dimensiones*



*Nota.* ResearchGate - François Michaud.

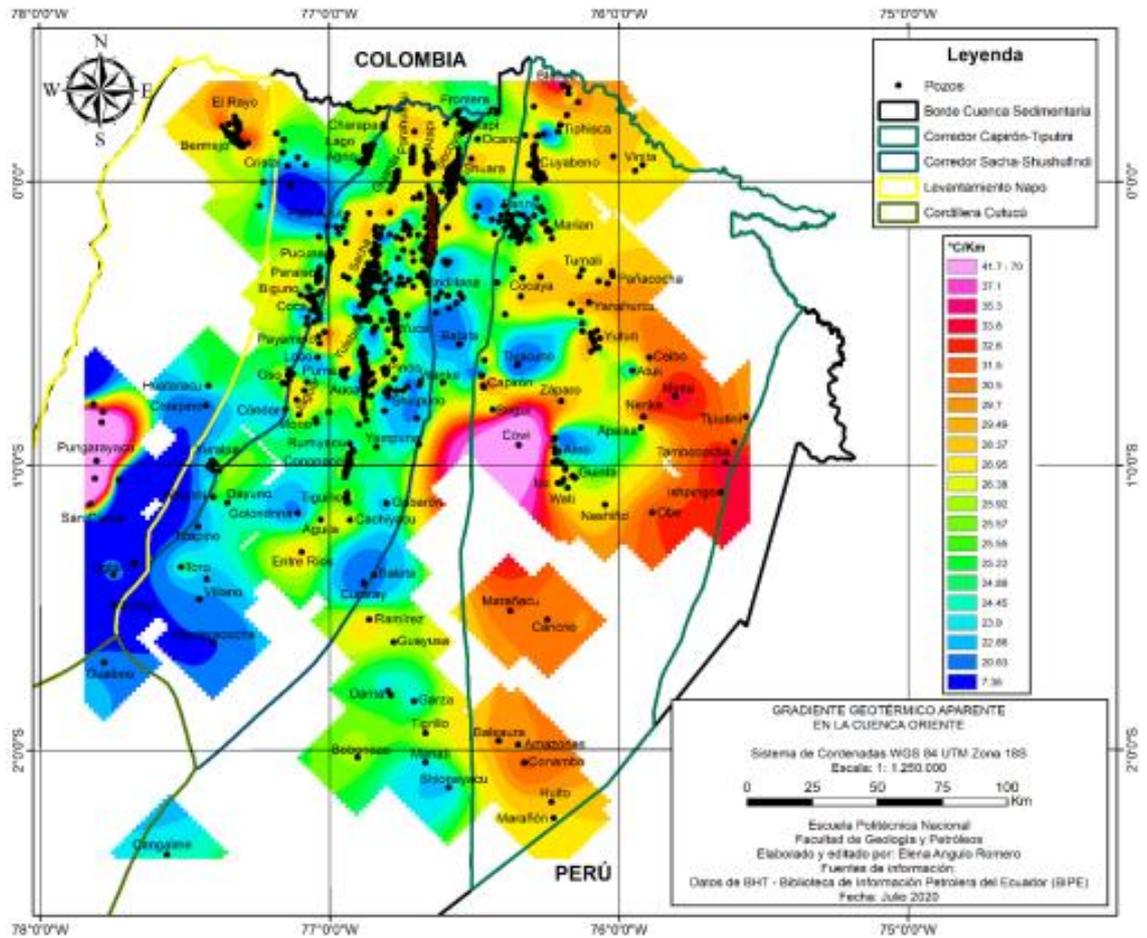
### **7.18 Flujo de Calor y Formación de Sistemas Geotérmicos**

La subducción de un cuerpo caliente y voluminoso como la Cordillera de Carnegie incrementa el flujo de calor en la corteza superior. En la región se han medido gradientes geotérmicos superiores a los  $40\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , significativamente mayores que los valores promedio globales ( $20\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ).

El calor acumulado en profundidad, en interacción con acuíferos y fracturación de la roca, genera sistemas geotérmicos de alta entalpía, con temperaturas superiores a los  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Estos reservorios son ideales para la generación eléctrica mediante tecnología de ciclo de vapor, ciclo binario o *flash* (ver Figura 37).

**Figura 37**

*Mapa de gradiente térmico en Ecuador*



*Nota.* Boletín de Geología – SciELO.

### 7.19 Áreas Potenciales de Explotación Geotérmica

Los estudios geotérmicos realizados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y el Ministerio de Energía han permitido identificar múltiples áreas prospectivas. Entre las más relevantes se destacan (ver Tabla 21):

**Tabla 21***Proyectos geotérmicos*

Proyecto	Potencial (MW)	Estado
Chachimbiro (Imbabura)	130	Prefactibilidad
Chacana (Napo)	438	Prefactibilidad
Tufiño–Chiles (Carchi)	114	Estudios básicos
Chalpatán (Carchi)	107	Estudios básicos

*Nota.* Boletín de Geología – SciELO.

Estos lugares presentan condiciones favorables, como altos gradientes térmicos, fracturación intensa y presencia de acuíferos.

**Impacto ambiental y social**

La energía geotérmica ofrece ventajas ambientales significativas:

- Emisiones de CO<sub>2</sub> muy inferiores a las de los combustibles fósiles.
- Menor ocupación de territorio que otras renovables como la solar o eólica.
- Funcionamiento continuo, independiente de las condiciones climáticas.

Sin embargo, también presenta algunos riesgos:

- Liberación de gases como H<sub>2</sub>S.
- Posible contaminación de acuíferos.
- Alteración del paisaje y ecosistemas locales.

Desde un punto de vista social, la geotermia puede generar empleo, estimular economías locales y mejorar la calidad de vida mediante acceso a energía limpia. Para garantizar su sostenibilidad, es fundamental implementar planes de manejo ambiental y participación comunitaria para garantizar su sostenibilidad (Beate y Salgado, 2005).

**Casos internacionales comparables**

El potencial geotérmico ecuatoriano encuentra paralelos en otros países exitosos:

- Islandia: más del 90 % de las viviendas utilizan calefacción geotérmica.
- Kenia: más del 40 % de su electricidad proviene de geotermia.
- Filipinas: tercer mayor productor mundial de electricidad geotérmica.

Estos casos destacan la importancia de la planificación, la inversión en Investigación y Desarrollo (I+D) y políticas públicas que fomenten el desarrollo del sector (ver Figura 38).

### **Figura 38**

*Planta geotérmica en Palayán, Filipinas*



*Nota.* ThinkGeoenergy.

Las perspectivas son alentadoras si se adoptan estrategias adecuadas, tales como la cooperación internacional, el fortalecimiento institucional y la formación técnica de personal.

La Cordillera de Carnegie no solo es una formación geológica importante, sino que también impulsa el desarrollo sostenible del Ecuador. Su espesor anómalo, la composición de sus materiales y la dinámica tectónica asociada generan un flujo de calor significativo en la corteza superior, creando condiciones propicias para el establecimiento de sistemas geotérmicos de alta entalpía. El aprovechamiento de estos recursos permitirá a Ecuador diversificar su matriz energética, disminuir su

dependencia de combustibles fósiles y contribuir a los ODS. Para dicho propósito, se requiere voluntad política, inversión, gestión ambiental y participación social.

## **CAPÍTULO V. PROYECTO DE PLANTA DESALINIZADORA EN JIPIJAPA**

### **8.1 Descripción General del Proyecto**

La ubicación propuesta para el diseño de la planta se encuentra en el cantón Jipijapa, específicamente en la parroquia rural de Puerto Cayo, situada a 30 minutos del cantón. Se ha escogido esta parroquia en particular debido a su cercanía al mar y a su potencial acceso a fuentes geotérmicas que podrían ser similares a las de Andil, Choconchá y Joa, dada su proximidad geográfica.

Para la ubicación de la planta se tomaron como referencia las siguientes coordenadas: 1°23'14" S 80°44'55" W (ver Figura 39). La infraestructura ocupará una extensión de dos hectáreas aproximadamente. Este proyecto abastecerá a todo el cantón y a sus parroquias cercanas, solventando agua potable apta para el consumo de las personas que habitan en el lugar.

#### **Figura 39**

*Ubicación geográfica del proyecto*



Nota. Google Earth.

Los recuadros de color rojo delineados en el plano (ver Figura 40) representan las ubicaciones estratégicamente seleccionadas para la propuesta de instalación de la planta desalinizadora, dentro del proyecto orientado al desarrollo y optimización de procesos de desalinización de agua. Estas áreas se definieron tras un análisis que consideró factores técnicos, ambientales y logísticos relevantes para garantizar la viabilidad y eficiencia del proyecto.

### Figura 40

Propuesta para la planta desalinizadora y geotérmica



Nota. Elaboración propia.

La imagen tomada con un dron (ver Figura 41) ofrece una representación visual detallada que permite evaluar la viabilidad técnica y logística de la propuesta para la ubicación de la planta desalinizadora, en el marco del proyecto de tesis sobre desalinización de agua. Esta herramienta cartográfica proporciona una perspectiva geográfica precisa, destacando la proximidad de las áreas seleccionadas al litoral marítimo, un factor crítico para el diseño y la operación eficiente de la planta.

La cercanía al mar no solo facilita el acceso al recurso hídrico necesario para el proceso de desalinización, sino que también optimiza los aspectos relacionados con la infraestructura de captación y disposición de salmuera, minimizando costos operativos y posibles impactos ambientales. Además, el análisis de la imagen permite identificar características topográficas, accesibilidad a vías de transporte y posibles restricciones ambientales o urbanísticas en las zonas propuestas, lo que contribuye a una toma de decisiones informada y fundamentada.

### Figura 41

*Propuesta de ubicación de planta desalinizadora y geotérmica vista*



*Nota.* Elaboración propia.

La Figura 42 muestra de manera detallada la propuesta para el diseño y trazado de una red de tuberías destinada al transporte de agua potabilizada, desarrollada en el marco del proyecto de tesis sobre desalinización de agua. Esta infraestructura tiene como objetivo principal garantizar el suministro de agua potable a la ciudad de Jipijapa, ubicada en la provincia de Manabí, Ecuador, con la posibilidad de extender su alcance hacia las parroquias circundantes, beneficiando a las comunidades aledañas que enfrentan desafíos relacionados con el acceso limitado a agua de calidad.

La representación gráfica ilustra el recorrido propuesto de la tubería, diseñado estratégicamente para optimizar la distribución del recurso hídrico desde la planta desalinizadora hasta los puntos de consumo. El diseño de la red de tuberías se planificó considerando una serie de factores técnicos, geográficos y socioeconómicos clave. Entre estos se incluyen la topografía del terreno, que influye en la determinación de pendientes y la ubicación de estaciones de bombeo; la distancia entre la planta desalinizadora y los centros poblados, que afecta los costos de construcción y mantenimiento; y la densidad poblacional de Jipijapa y sus parroquias, lo que permite priorizar las áreas con mayor demanda hídrica.

Además, se evaluaron aspectos como la capacidad hidráulica de la tubería, el diámetro adecuado para garantizar un flujo suficiente y los materiales a utilizar, seleccionados para cumplir con estándares de durabilidad, resistencia a la corrosión y compatibilidad con el transporte de agua potable.

La extensión de la red hacia las parroquias cercanas a Jipijapa busca atender de manera equitativa las necesidades de las comunidades rurales, que a menudo dependen de fuentes de agua no tratada o de difícil acceso. Este enfoque promueve la inclusión social y el desarrollo sostenible, al mejorar las condiciones de vida y salud pública en la región. Para garantizar la viabilidad del proyecto, se consideraron también las normativas nacionales e internacionales aplicables al manejo y distribución de agua potable, así como los posibles impactos ambientales asociados a la construcción y operación de la infraestructura.

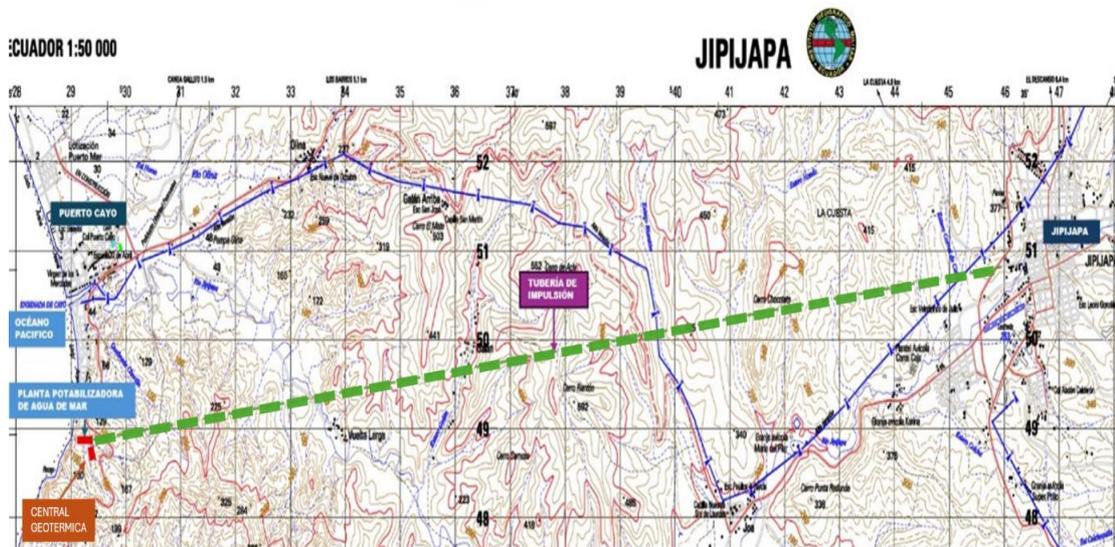
Se priorizó el uso de tecnologías y prácticas que minimicen la huella ecológica, como la optimización del trazado para reducir la longitud de la tubería y la implementación de sistemas de monitoreo para prevenir fugas o pérdidas de agua. En términos operativos, la propuesta incluye la integración de sistemas de bombeo y almacenamiento intermedios, si fuera necesario, para asegurar un suministro continuo y eficiente, incluso en periodos de alta demanda. Asimismo, se contempló la accesibilidad de la infraestructura para su mantenimiento, con el objetivo de prolongar su vida útil y reducir costos a largo plazo.

Este proyecto no solo busca resolver los desafíos hídricos de Jipijapa y sus alrededores, sino que también pretende establecer un modelo replicable para otras

regiones con problemáticas similares, contribuyendo al desarrollo de soluciones sostenibles en el ámbito de la desalinización y distribución de agua potable (ver Figura 42). Por lo tanto, no solo representa una propuesta técnica, sino también una visión integral para mejorar el acceso al agua como un derecho fundamental, apoyando el crecimiento económico y social de la región.

**Figura 42**

*Línea de tubería*



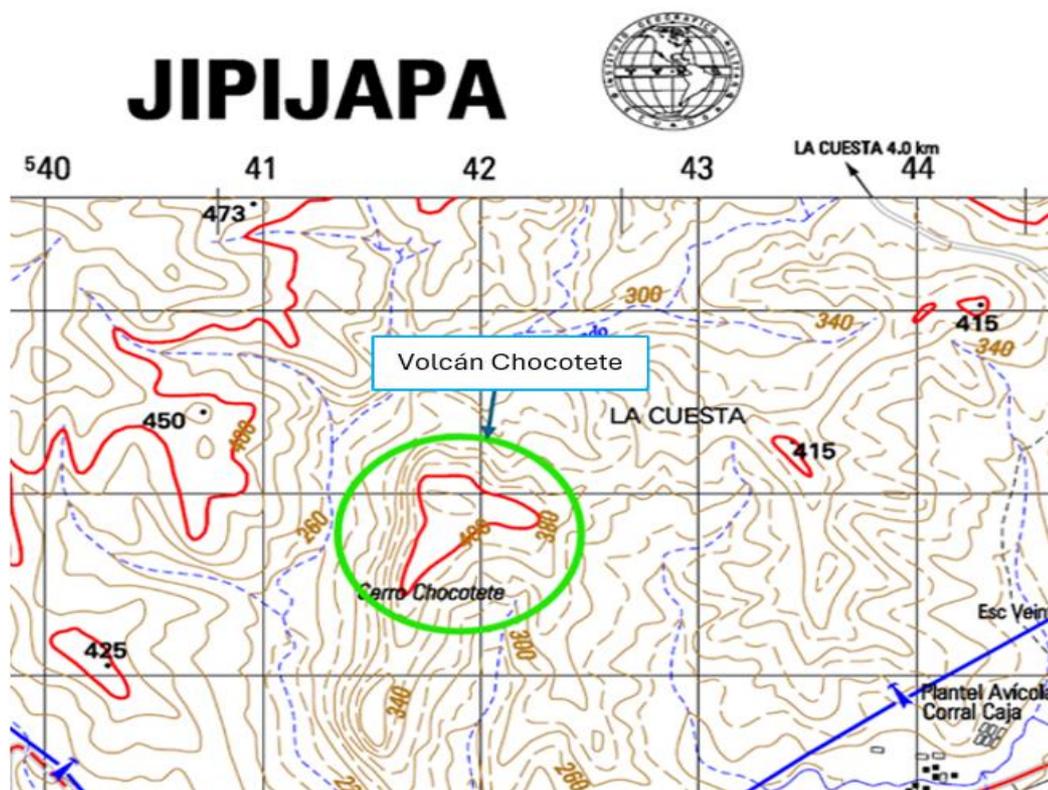
*Nota.* Elaboración propia.

En la Figura 43 se evidencia la presencia del volcán Chocotete, cuya ubicación puede verificarse en la carta topográfica del Instituto Geográfico Militar (IGM) de Ecuador. Este volcán, situado en la comuna de Joa, cantón Jipijapa, provincia de Manabí, a 7 km al oeste de Jipijapa y noreste del pueblo de Joa, forma parte de la Cordillera Chongón-Colonche y se eleva a 400 metros sobre el nivel del mar.

Como el único volcán de la región costera de Ecuador y de la Costa Sudamericana, el Chocotete presenta características geológicas que sugieren un potencial significativo para la extracción de energía geotérmica. Su estructura, combinada con la presencia de aguas azufradas emergentes de sus entrañas, indica una actividad geotérmica subterránea que podría aprovecharse como fuente de energía renovable.

**Figura 43**

*Volcán Chocotete.*



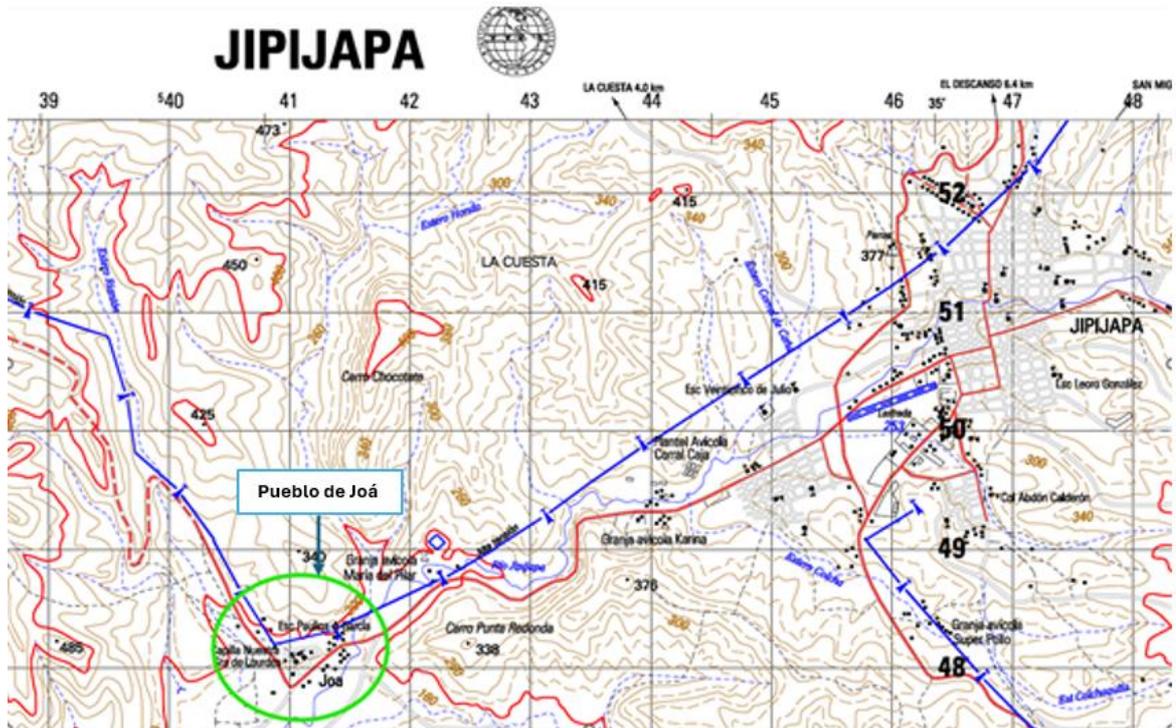
*Nota.* Elaboración propia.

En la Figura 44 se observa el mapa del cantón Jipijapa, donde se destaca especialmente el territorio de la parroquia de Joa. Este lugar tiene un relieve con montañas bien definidas, lo que ayuda a identificar las áreas más altas y los valles que forman la forma del terreno. También se muestran las rutas principales que atraviesan la parroquia, que son importantes para conectar las comunidades rurales con el centro urbano de Jipijapa.

Además, el mapa muestra que la parroquia está cerca del volcán Chocotete, un sitio geográfico muy importante para la zona. Este volcán tiene un potencial geotérmico significativo en sus cercanías, lo que demuestra la posibilidad de utilizar esos recursos energéticos y hídricos para los proyectos que se desarrollan.

**Figura 44**

*Pueblo de Joa*



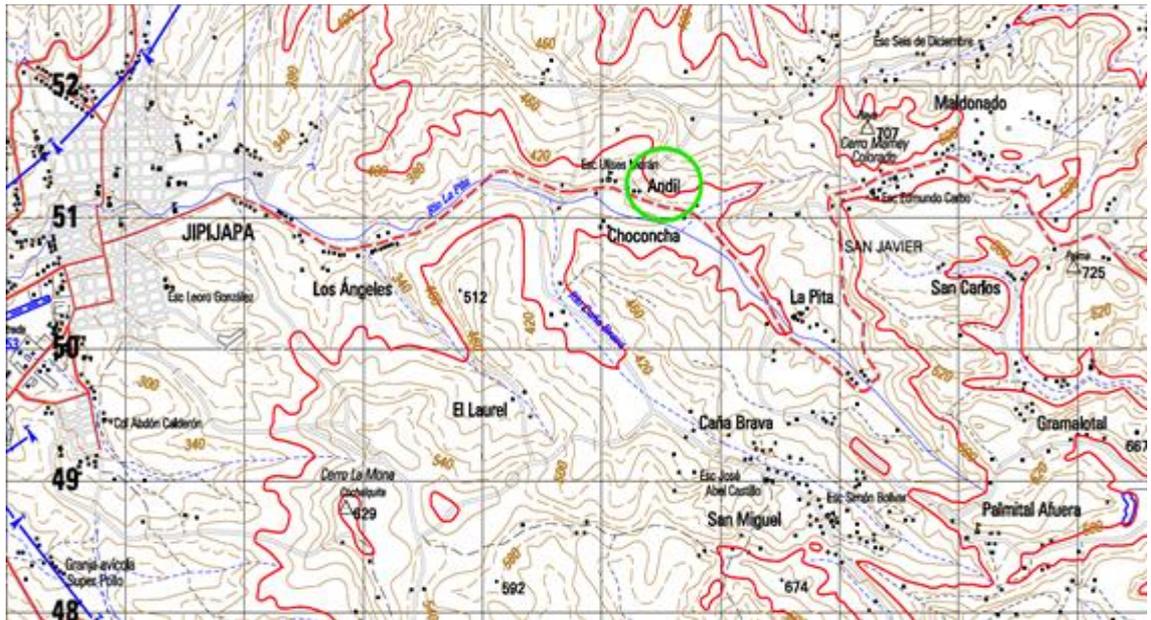
*Nota.* Elaboración propia.

En la Figura 45 se observa el poblado de Andil, una comunidad habitada que ha adquirido relevancia en estudios recientes debido a la presencia de fuentes de agua caliente en su entorno. Estas aguas termales, que tanto la gente del lugar como investigadores han mencionado, es un signo claro de que hay actividad geotérmica cerca.

De acuerdo con la carta topográfica, dichas fuentes se localizan en proximidad al volcán Chocotete, cuya historia geológica ha favorecido la presencia de fluidos calientes. Este descubrimiento muestra que Andil es un lugar clave para realizar estudios más profundos sobre agua y energía. Esto ayudará a entender mejor cuánta agua podría utilizarse y cómo se podría aprovechar con la energía del suelo caliente.

## Figura 45

### *Pueblo Andil*



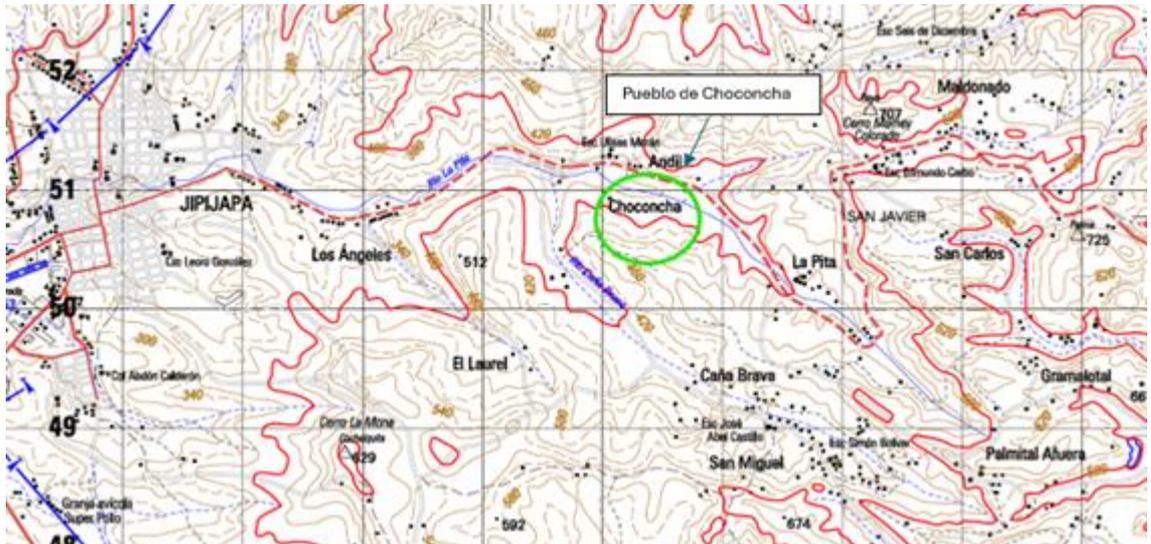
*Nota.* Elaboración propia.

El área de Choconchá se considera un punto de interés en el estudio del territorio, no solo por su ubicación estratégica, sino también por su relieve y proximidad a los terrenos formados por volcanes. Esta zona se ha señalado como posible sitio para el aprovechamiento de energía geotérmica en procesos de desalinización de agua de mar, con el propósito de satisfacer las necesidades hídricas de la población local y de las comunidades cercanas.

De acuerdo con el mapa topográfico, Choconchá se encuentra a una altitud que varía desde 340 hasta 674 metros sobre el nivel del mar, lo que evidencia un relieve diverso que favorece la recarga hídrica y permite identificar posibles conductos naturales para el movimiento de fluidos subterráneos asociados a la energía geotérmica. Además, la ubicación de Choconchá le otorga relevancia en términos de conexión con otros lugares como Joa y Andil, formando un camino geográfico donde se puede aprovechar la actividad geotérmica que existe de forma natural (ver Figura 46).

## Figura 46

### Pueblo de Choconchá



*Nota.* Elaboración propia.

Estas imágenes permiten confirmar con mayor certeza que existe un gran potencial para extraer energía geotérmica en el cantón de Jipijapa, sustentado en sus características geológicas y topográficas especiales. La evidencia obtenida en mapas e imágenes respalda la idea de que las fuentes hidrotermales encontradas no son fenómenos aislados, sino que están estrechamente vinculadas con la actividad volcánica y el movimiento de las placas tectónicas cercanas al volcán Chocotete y la estructura de la cordillera Chongón-Colonche.

Estos resultados preliminares refuerzan la creencia de que Jipijapa constituye un entorno propicio para implementar tecnologías limpias basadas en energía geotérmica. Esto no solo ayudaría a diversificar la producción de energía en la región, sino también a mejorar el acceso al agua potable mediante técnicas de desalinización.

## 8.2 Diseño Conceptual de la Planta

El sistema propuesto combina el uso de energía sostenible de una planta geotérmica, lo que contribuye a reducir significativamente los costos energéticos asociados al proceso de desalinización de agua de mar, tradicionalmente considerado de alto costo. De esta manera, se logra abaratar el precio del agua potable producida y garantizar la viabilidad económica del proyecto.

El proceso de potabilización el agua se llevará a cabo mediante una planta de ósmosis inversa, tecnología que se ha identificado como la más adecuada para este caso por su eficiencia y capacidad de generar agua de alta calidad. El procedimiento incluye las siguientes etapas:

- Captación de agua de mar: contará con dos tuberías: una para la planta geotérmica y otra para la desalinizadora.
- Proceso de creación de energía para desalinizar el agua: una vez captada el agua de mar para el pozo y su tubería revestida para no perder el calor, el agua subirá a 95-98 °C.
- Almacenamiento del agua calentada: se utilizarán tanques de hormigón diseñados para mantener caliente el agua.
- Energía adicional: se propone la utilización de energía solar para calentar el agua y alcanzar su punto de ebullición.
- Captación de vapor: una vez evaporada, el agua se empleará para generar energía mediante una turbina que alimentará a la planta desalinizadora.
- Desalinización: la energía obtenida permitirá potenciar la planta desalinizadora, la cual funcionará mediante ósmosis inversa.
- Captación de salmuera: gracias a la idea innovadora, se podrá utilizar la salmuera para generar subproductos por el fácil acceso a los tanques almacenadores.

Es importante subrayar que la planta podrá servir como ejemplo y, a su vez, ser utilizada en otras zonas costeras de Ecuador.

### **8.3 Modelos Esquemáticos de la Propuesta de la Planta Desalinizadora Alimentada con Energía Geotérmica**

En la Figura 46 se observa la perforación de un pozo, cuya profundidad se estima en menos de 2000 metros. Sin embargo, esta estimación es solo una suposición inicial, porque no existen estudios geológicos, geotécnicos o hidrogeológicos específicos que confirmen con exactitud cuán profundo puede ser el subsuelo en esta zona. La falta de datos técnicos precisos evidencia la importancia de realizar investigaciones más detalladas, como estudios geofísicos, análisis de capas del terreno

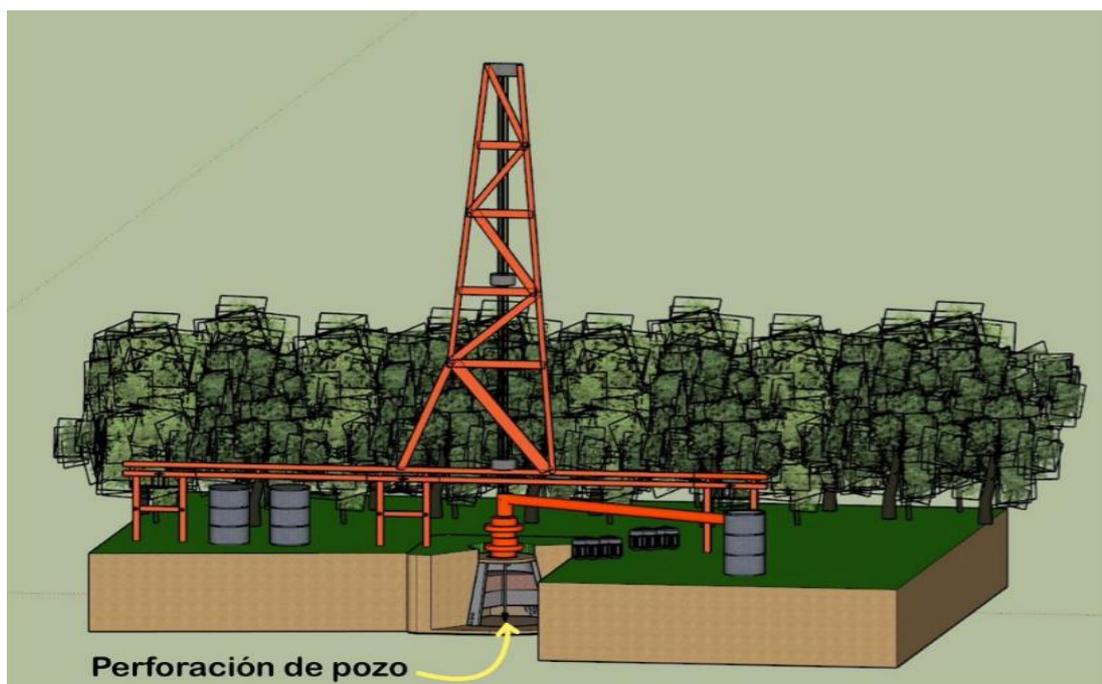
y pruebas del gradiente geotérmico, que ayuden a saber cuál sería la profundidad adecuada para perforar y si es posible aprovechar eficientemente el recurso geotérmico.

Además, es importante señalar que perforar a gran profundidad requiere una planificación minuciosa, no solo para medir la temperatura y la presión de los fluidos geotérmicos, sino también para evitar riesgos como la inestabilidad de las rocas, la presencia de fallas tectónicas o las variaciones en la permeabilidad de las capas del suelo. Por ello, los estudios especializados son clave para garantizar la seguridad del proceso, optimizar el uso de los recursos de infraestructura y prever de forma confiable la cantidad de energía que podría producir el pozo.

En conjunto, la Figura 47 constituye un punto de partida, pero también evidencia la necesidad de contar con información técnica sólida que respalde cualquier proyecto de perforación en el futuro, lo cual permitirá asegurar un uso sostenible y seguro de la energía geotérmica en el cantón de Jipijapa.

#### **Figura 47**

*Modelo esquemático de la planta*



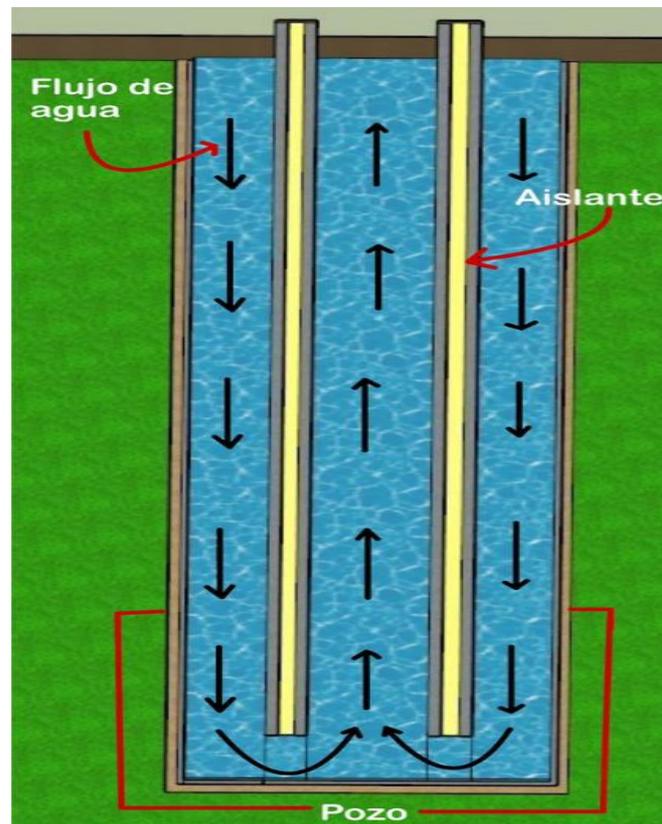
*Nota.* Elaboración propia.

En la Figura 48 se detalla el interior del pozo ya perforado, lo que permite comprender mejor las condiciones físicas de la cavidad. Para este estudio, se plantea instalar un sistema de tubería con aislamiento.

El uso de tuberías con material aislante es una técnica común que contribuye a optimizar el rendimiento energético del recurso. Este diseño tiene como objetivo asegurar que el agua, al calentarse dentro del pozo y alcanzar una temperatura de entre 95 °C y 98 °C, pueda mantener su diferencia de temperatura sin perder mucho calor, lo cual es crucial para su funcionamiento en la superficie.

### Figura 48

*Interior de los pozos*



*Nota.* Elaboración propia.

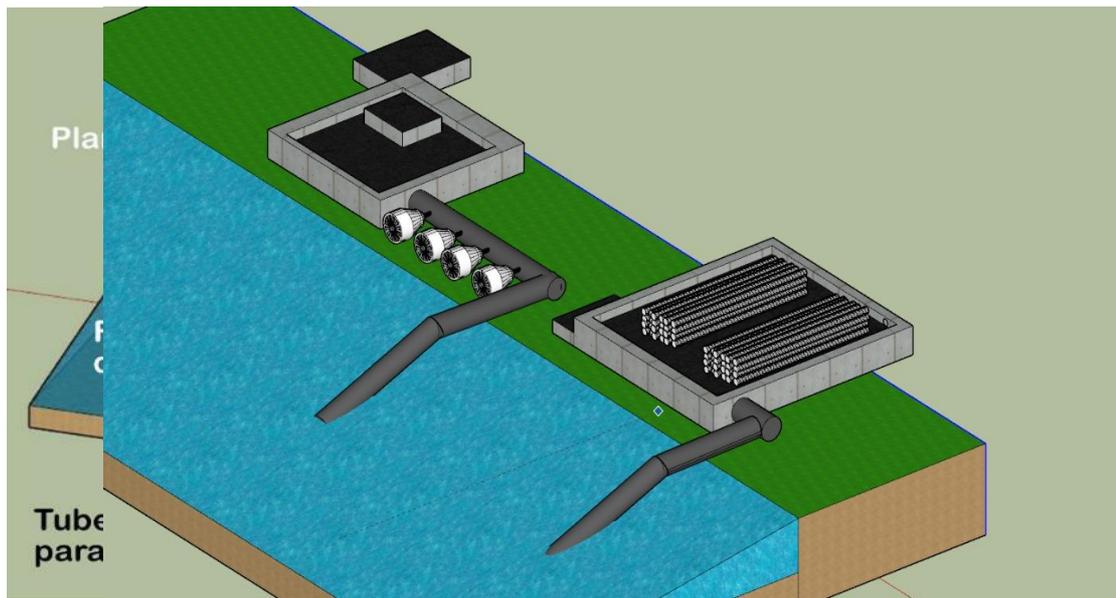
En la Figura 49 se observa el diseño propuesto para extraer y llevar el agua de mar, con una doble función: generar energía eléctrica y obtener agua potable mediante desalinización. El esquema muestra dos tuberías principales, cada una dirigida hacia un sistema diferente.

La primera tubería se conecta con el circuito destinado a la generación de energía. El flujo se controlará con válvulas y un sistema de bombas que garantizan un flujo constante, reducen pérdidas de presión y mantienen el funcionamiento estable. La segunda tubería conduce el agua a la planta desalinizadora, donde se realiza un pretratamiento (filtración, coagulación y floculación, y desinfección inicial), seguido del proceso principal de desalinización por ósmosis inversa. Este diseño en paralelo permite atender al mismo tiempo las necesidades de energía y de agua potable, sin afectar la calidad del agua ni la eficiencia de la instalación.

La introducción de dos líneas distintas ofrece beneficios técnicos relevantes, brindando como un mayor control durante el funcionamiento, la prevención de interferencias entre procesos, la reducción del riesgo de contaminación cruzada y la facilidad de realizar el mantenimiento regular de cada sistema. En conjunto, esta propuesta crea un sistema funcional y flexible según las necesidades, confirmando que es posible integrar la energía geotérmica y la desalinización en el cantón de Jipijapa.

#### **Figura 49**

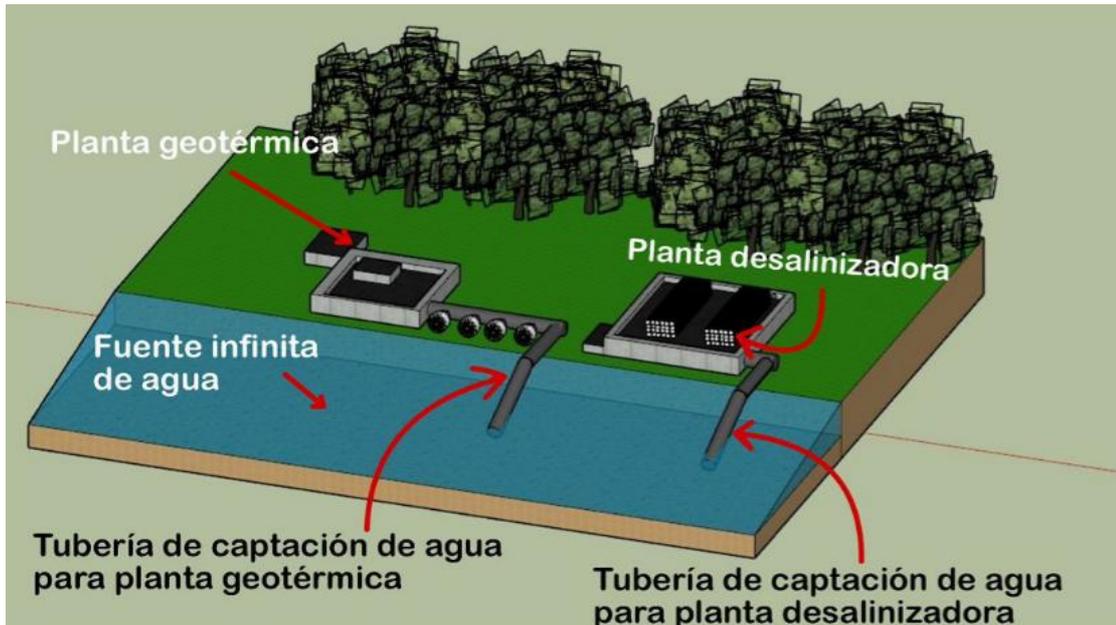
*Visita de corte del proyecto*



*Nota.* Elaboración propia.

## Figura 50

Visita de corte del proyecto



*Nota.* Elaboración propia.

Se sugiere utilizar tanques de almacenamiento contruidos con hormigón reforzado, diseñados para resistir altas temperaturas y garantizar la durabilidad de la estructura frente a las condiciones exigentes del fluido geotérmico. Estos tanques recibirán el agua proveniente del pozo, la cual emerge con una temperatura de entre 95 y 98 °C. Una vez almacenada, se propone complementar el sistema con energía solar para elevar aún más su temperatura, con el objetivo de llevarla a ebullición y facilitar la separación de sales y minerales.

Este sistema híbrido, que combina energía geotérmica y solar no solo optimiza los recursos disponibles en la zona, sino que también ayuda a reducir la necesidad de importar energía. Además, al usar este método, se evita que la salmuera quede dentro del pozo, lo que podría causar incrustaciones, corrosión o reducir la permeabilidad de las rocas. En su lugar, la salmuera concentrada se recoge con control en los tanques, lo que la hace más fácil de sacar, manejar y desechar correctamente.

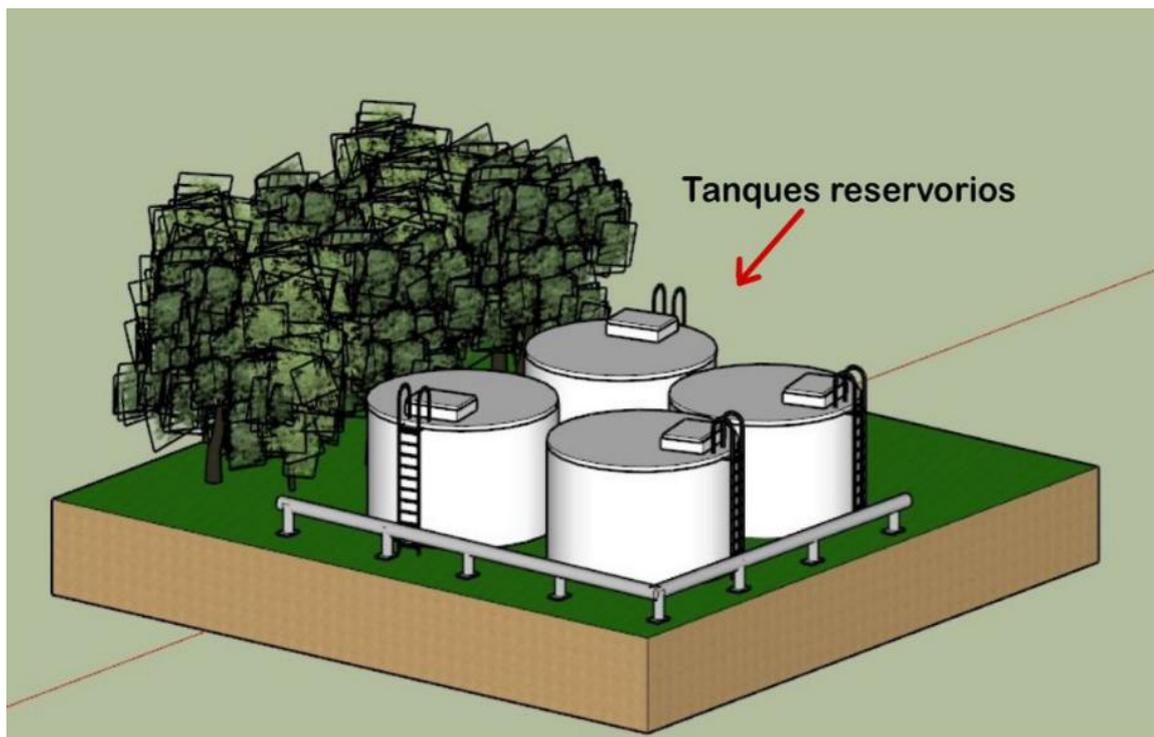
Un aspecto relevante es que la salmuera, aunque en principio se considere un residuo, puede aprovecharse para la obtención de productos valiosos como sales, cloruros, sulfatos o incluso litio, dependiendo de su composición. Este enfoque de

economía circular transforma algo que podría ser un problema ambiental en una oportunidad para generar más producto y beneficiar a la comunidad, mejorando la sostenibilidad del proyecto.

En resumen, emplear tanques de hormigón con soporte solar no solo mejora la eficiencia energética del sistema, sino que también facilita la gestión de los residuos y abre posibilidades para aprovechar mejor los recursos que se generan en el proceso (ver Figura 51).

### **Figura 51**

*Tanques de almacenamiento*



*Nota.* Elaboración propia.

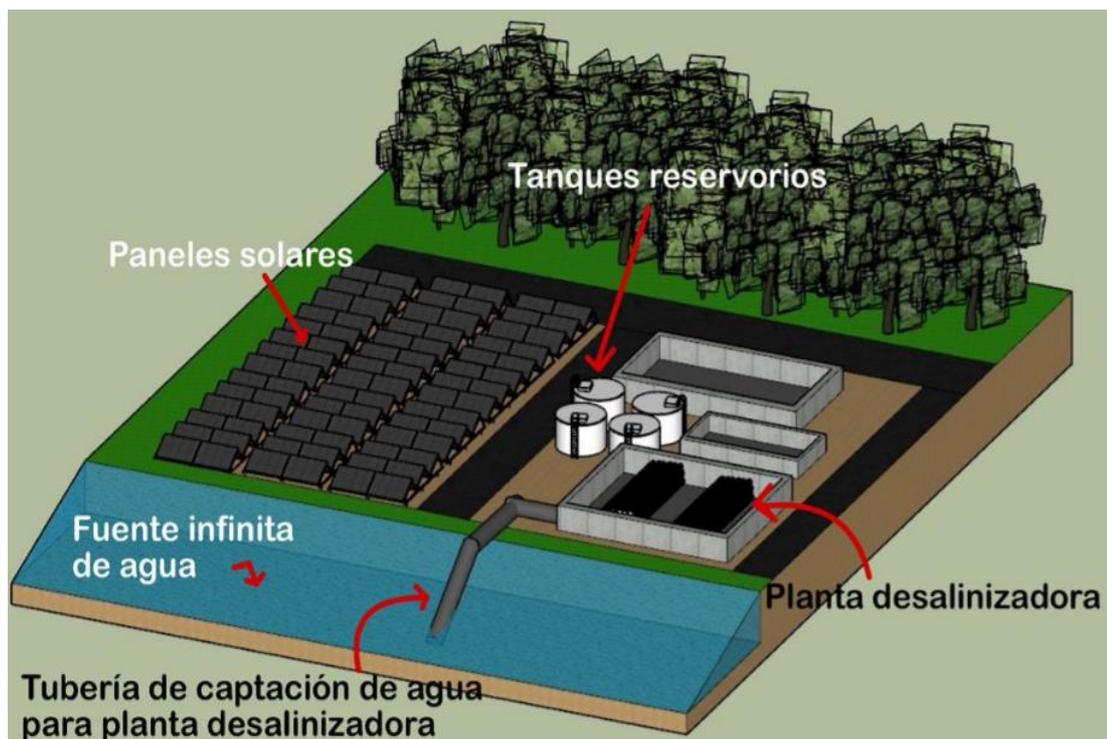
En la Figura 52 se observa la disposición de los paneles solares destinados a complementar el proceso energético de la planta. Su función principal es suministrar la energía necesaria para que el agua, previamente calentada por el sistema geotérmico con temperaturas que oscilan entre los 95 °C y 98 °C, alcance el umbral de los 100 °C, condición indispensable para generar el vapor requerido en la etapa de conversión energética.

La integración de energía solar en este esquema cumple una doble función: por un lado, refuerza la eficiencia del ciclo al garantizar que el agua alcance la temperatura de ebullición sin depender exclusivamente de la fuente geotérmica; y por otro, promueve el uso de energías limpias y renovables, reduciendo la huella de carbono y fortaleciendo la sostenibilidad ambiental del proyecto. Asimismo, la ubicación estratégica de los paneles en áreas de alta radiación solar propia del cantón Jipijapa garantiza un rendimiento óptimo, especialmente durante las horas de mayor irradiancia.

De esta manera, la sinergia entre la energía geotérmica y la energía solar no solo optimiza el proceso de generación eléctrica, sino que también asegura la autosuficiencia de la planta desalinizadora, consolidándola como un modelo innovador de aprovechamiento integral de recursos renovables en beneficio de la seguridad hídrica de la región (ver Figura 52).

### **Figura 52**

*Paneles para el proceso eléctrico*

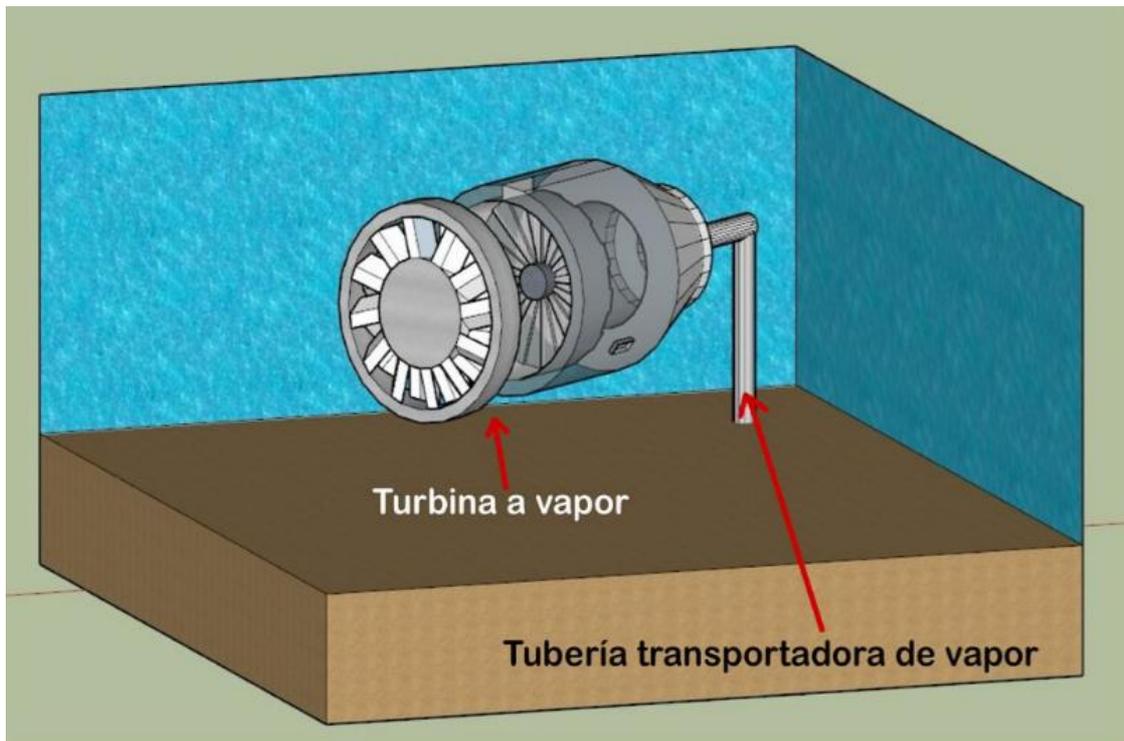


*Nota.* Elaboración propia.

El vapor producido se conducirá hacia la turbina, donde su expansión transformará la energía térmica en energía mecánica y, posteriormente, en energía eléctrica a través de un generador acoplado. Esta electricidad se destinará a abastecer de manera directa el funcionamiento de la planta desalinizadora, cubriendo los requerimientos energéticos tanto del tren de desalinización como de los sistemas auxiliares de bombeo, control y tratamiento. En la Figura 53 se puede observar la turbina conectada a un tubo que transporta el vapor para generar la energía requerida para la planta desalinizadora.

**Figura 53**

*Turbina del sistema*



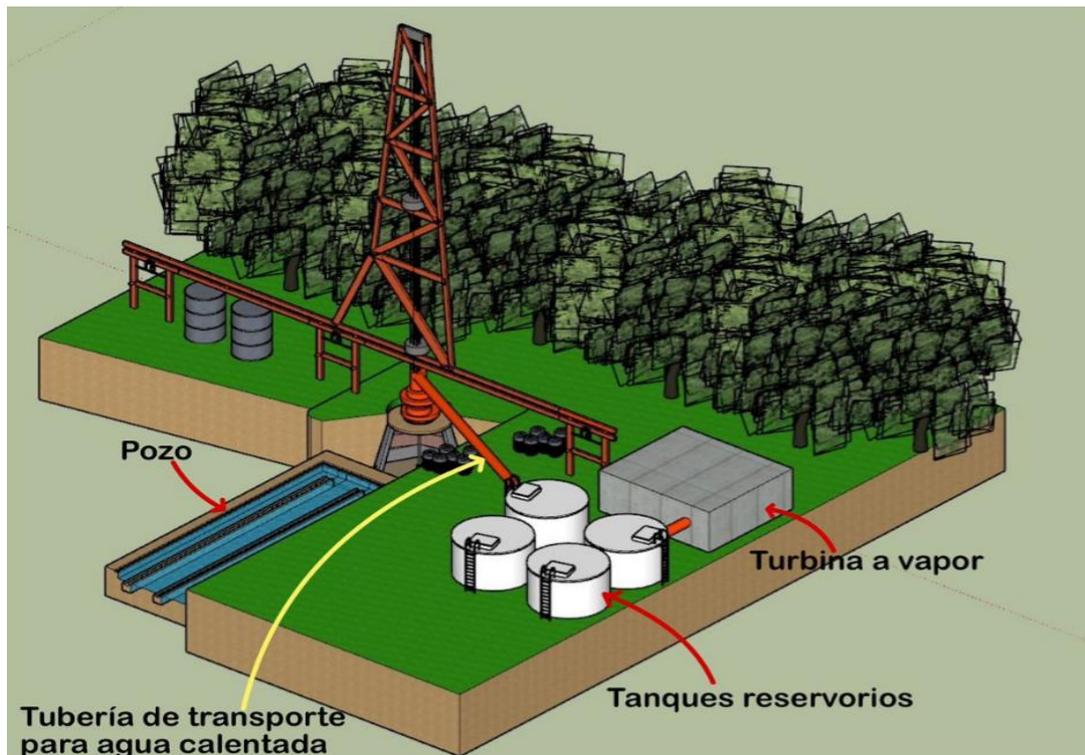
*Nota.* Elaboración propia.

A continuación, en la Figura 54 se presenta el esquema conceptual de la planta geotérmica, donde se incluyen todos los elementos mencionados en secciones previas. La propuesta muestra cómo los distintos subsistemas (captación del recurso geotérmico, conversión de energía, almacenamiento intermedio, desalinización y gestión de la salmuera) trabajan juntos para formar una infraestructura eficiente y sostenible.

El esquema también incluye el uso de tanques de hormigón para almacenar y manejar los fluidos, con revestimientos y sistemas de aislamiento que reducen las pérdidas de calor. Además, el manejo de la salmuera se realiza fuera del pozo, lo que evita problemas de atasco o daño estructural, y abre la posibilidad de aprovechar este subproducto para la obtención de minerales de valor económico

### Figura 54

*Línea de tubería*



*Nota.* Elaboración propia.

En la Figura 55 se muestra el funcionamiento de una planta desalinizadora que emplea la tecnología de ósmosis inversa. Este diagrama permite comprender claramente cada una de las etapas del sistema, desde cuando se recoge el agua del mar hasta cuando se obtiene agua potable para beber.

En primer lugar, el agua del océano pasa por una fase de pretratamiento, en la que se aplican diferentes procesos como cribado, sedimentación, filtración y, en ciertos casos, ultrafiltración. Esta etapa es clave para eliminar partículas, materia orgánica y bacterias, lo que evita que se dañen o tapen las membranas utilizadas en la ósmosis.

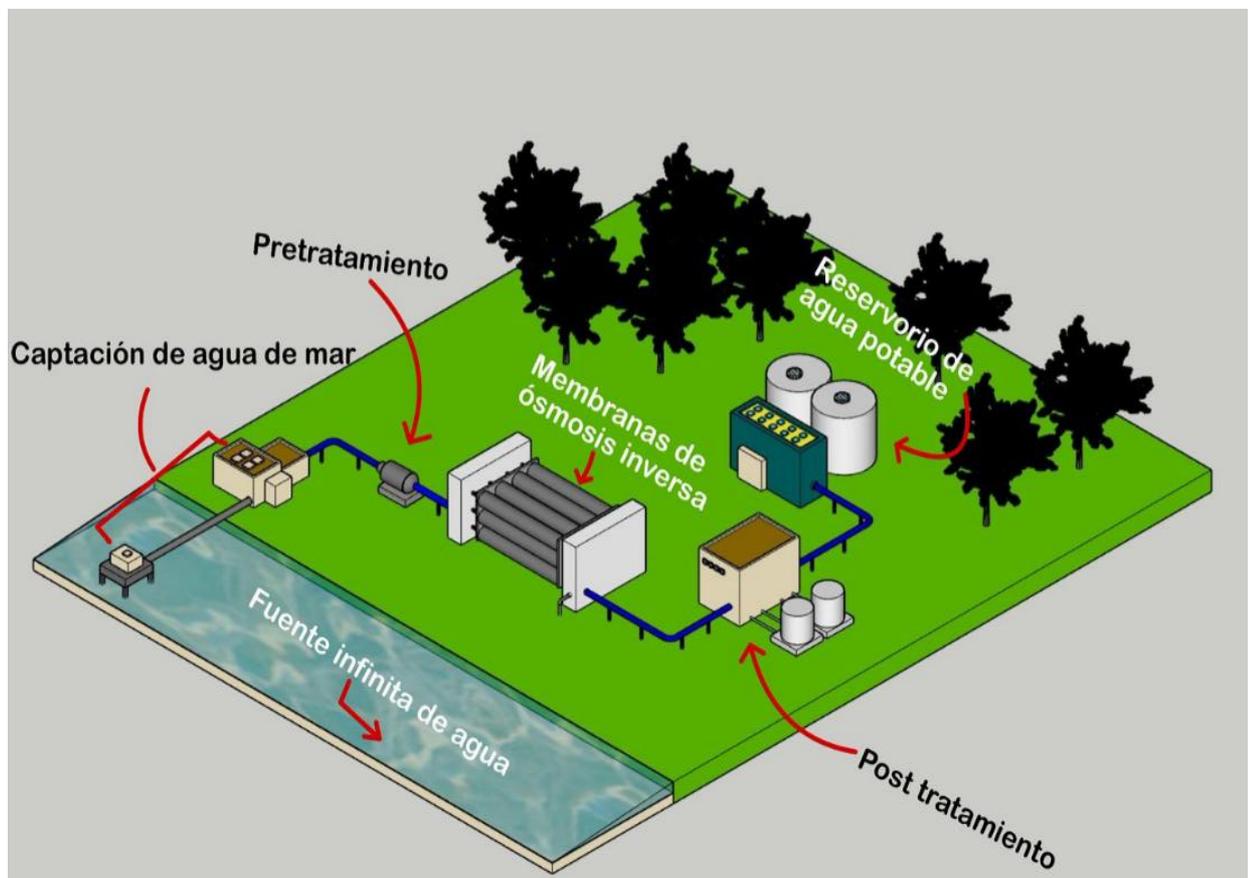
En segundo lugar, el agua se envía a través de bombas con mucha presión hacia los módulos de membranas semipermeables.

La presión es tan alta que permite que el agua pase por las membranas, mientras que las sales y otros contaminantes quedan detrás. De esta forma, se genera agua dulce, que tiene poca salinidad, y una corriente rica en sal denominada salmuera, que necesita ser tratada adecuadamente para no afectar al medio ambiente.

Finalmente, el agua desalada pasa por un proceso de postratamiento, en el cual se ajustan parámetros como el pH, la dureza y el contenido de los minerales, con el fin de garantizar que cumpla con los estándares de calidad necesarios para su uso humano. Una vez verificado su cumplimiento, se guarda en tanques de almacenamiento y luego se envía a las redes de distribución local.

### Figura 55

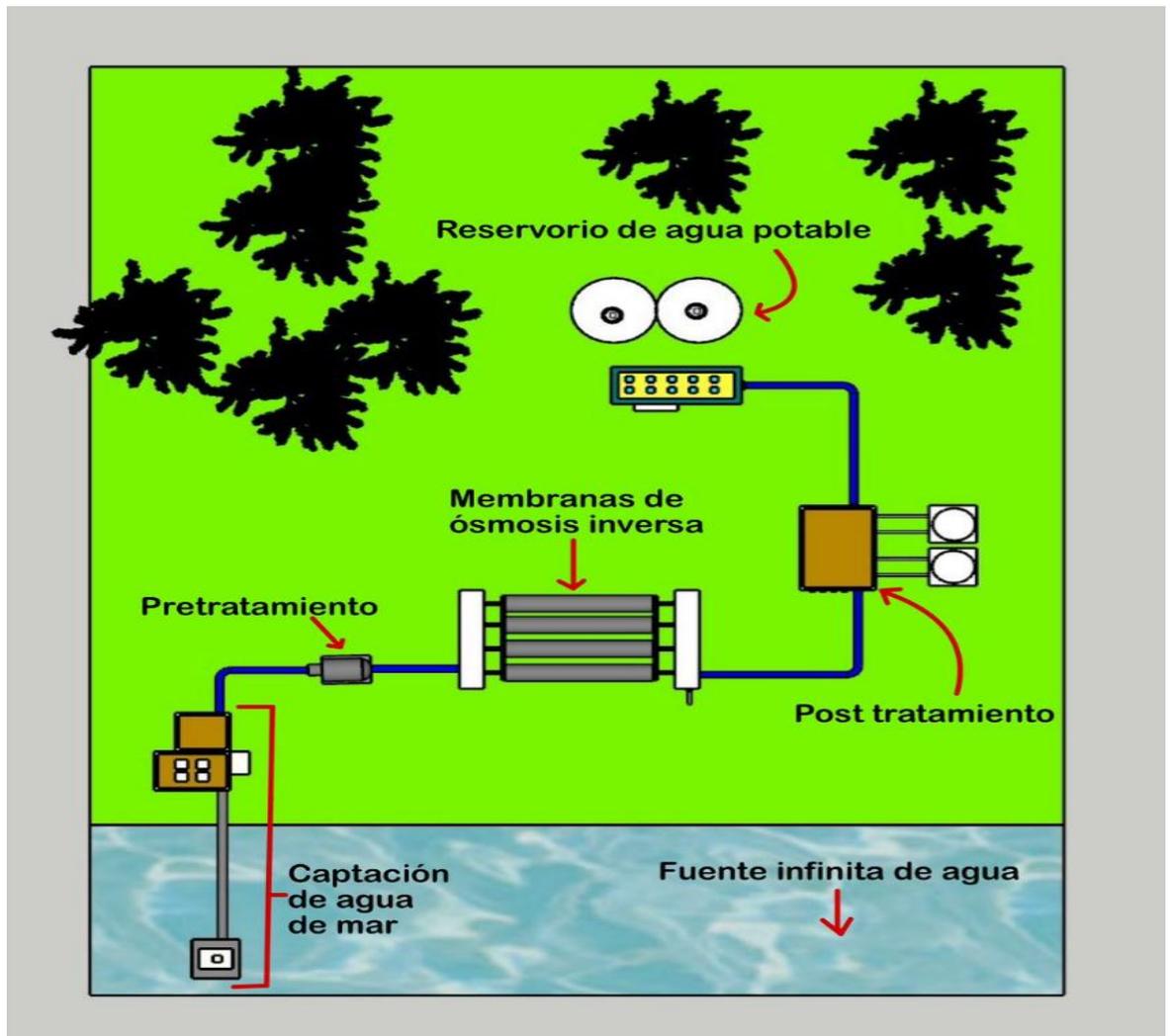
*Línea de tubería*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 56**

*Vista superior de la planta desalinizadora*



*Nota.* Elaboración propia.

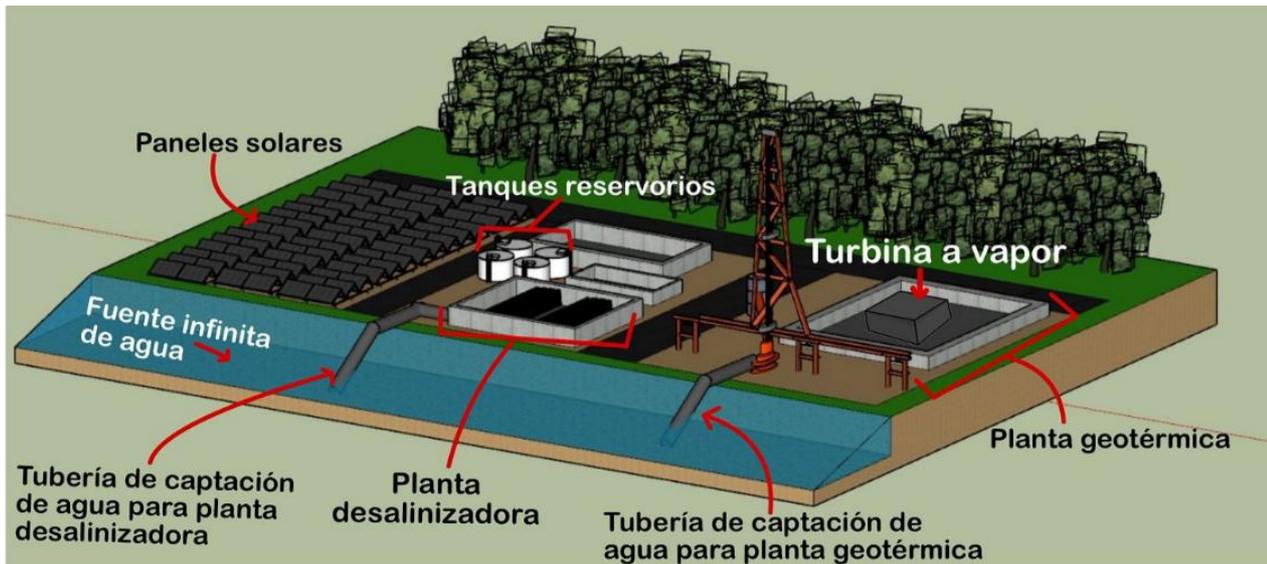
Finalmente, al unir paso a paso y de forma coordinada todos los procesos ya mencionados (extracción del recurso geotérmico, almacenamiento en tanques de hormigón, uso complementario de la energía solar, producción de electricidad con turbinas y tratamiento del agua de mar mediante ósmosis inversa) se forma un sistema completo y autosuficiente.

El resultado es una planta híbrida que combina energía geotérmica y solar para desalinizar el agua, generando, al mismo tiempo, electricidad limpia y agua potable. Este tipo de diseño no solo mejora la eficiencia técnica y reduce las pérdidas de energía, sino que también aporta un valor importante al territorio, al convertirse en un

ejemplo de manejo sostenible frente a los retos del cambio climático, la falta de agua y la dependencia de combustibles fósiles.

En ese sentido, la propuesta muestra que es posible transformar los recursos naturales del cantón de Jipijapa en soluciones concretas que garanticen la seguridad hídrica y energética de la comunidad, contribuyendo al desarrollo local y a los ODS (ver Figura 57).

**Figura 57**



*Planta desalinizadora a base de energía geotérmica y solar*

*Nota.* Elaboración propia.

## **CAPÍTULO VI. RESULTADOS OBTENIDOS**

La investigación sobre la desalinización de agua de mar mediante su integración con energía geotérmica en Jipijapa, Ecuador, ha generado resultados relevantes que demuestran la viabilidad de esta alternativa para abordar la crisis hídrica en el cantón y contribuir a la soberanía hídrica del país. Los resultados se derivan de un análisis comparativo de casos internacionales, la caracterización del potencial geotérmico local, la selección de tecnologías de desalinización, el diseño conceptual de un sistema piloto y la evaluación de su impacto técnico, económico, ambiental y social en el contexto ecuatoriano.

### **9.1 Análisis Comparativo de Casos Internacionales Adaptados al Contexto Ecuatoriano**

El estudio de tres casos internacionales de desalinización con energía geotérmica (Islandia, Kenia y Filipinas) proporcionó lecciones clave adaptables a las condiciones de Ecuador, considerando su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico como su marco normativo para energías renovables:

Islandia (Svartsengi): la planta geotérmica de Svartsengi produce 100 m<sup>3</sup>/día de agua potable mediante destilación multietapa, aprovechando temperaturas de 150 °C. Aunque las condiciones de alto contenido de calor de Islandia son directamente replicables en Jipijapa, el uso en cascada del calor geotérmico para desalinización y generación eléctrica es aplicable, especialmente en el marco del Plan Nacional de Energía Renovable 2019–2030 de Ecuador, que prioriza fuentes limpias (Ministerio de Energía, 2019).

Kenia (Olkaria): la planta de Olkaria utiliza fuentes geotérmicas de medio contenido de calor (100-150 °C) para producir 200 m<sup>3</sup>/día, abasteciendo comunidades rurales con un costo operativo de \$ 0,50/m<sup>3</sup> (Mutiso y Were, 2019). Este modelo es relevante para Jipijapa, donde la infraestructura hídrica limitada y la población rural (70 000 habitantes según el INEC 2022) demandan soluciones descentralizadas. La experiencia keniana destaca la importancia de involucrar a comunidades locales, un enfoque alineado con la Ley Orgánica de Recursos Hídricos de Ecuador.

Filipinas (Palinpinon): la planta de Palinpinon, genera 150 m<sup>3</sup>/día para uso doméstico y agrícola. Su bajo impacto ambiental y adaptabilidad a recursos geotérmicos similares a los de Jipijapa (Andil, Choconchá, Joa) sugieren que un sistema modular puede satisfacer la demanda hídrica local (10 500 m<sup>3</sup>/día para 70 000 habitantes a 150 L/hab/día).

Los casos internacionales muestran que la desalinización con energía geotérmica es una opción viable en Jipijapa, lo que coincide con las políticas de Ecuador sobre transición energética y control de los recursos hídricos. La colaboración de las comunidades es fundamental para aplicar estos modelos en la región costera de Manabí y evaluar el potencial geotérmico en Jipijapa.

## **9.2 Caracterización del Potencial Geotérmico en Jipijapa**

La evaluación de las fuentes termales en Andil, Choconchá y Joa, que están relacionadas con el volcán Chocotete y la cordillera Chongón-Colonche, muestra que tienen un potencial geotérmico suficiente para usarlo en la desalinización en Jipijapa, dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico. Estas fuentes alcanzan temperaturas superficiales de entre 40 y 70 °C y un caudal de 5 a 10 litros por segundo, según estudios iniciales.

La actividad tectónica de la Cordillera de Carnegie genera un incremento del gradiente geotérmico estimado entre 30 y 40 °C/km, lo que indica que hay reservorios bajo tierra a 500 a 1000 metros de profundidad con temperaturas de entre 60 y 80 °C, condiciones adecuadas para procesos térmicos.

La historia volcánica del Chocotete y la presencia de manantiales sulfurosos constituyen evidencias adicionales que refuerzan la hipótesis de un sistema geotérmico favorable. Además, la cercanía a la costa (7 a 10 kilómetros) contribuye a reducir los costos de captar agua del mar, un aspecto fundamental al diseñar el sistema de agua.

Si bien en Jipijapa no se han realizado perforaciones profundas que permitan confirmar con exactitud la capacidad de los reservorios, la evidencia superficial y los estudios desarrollados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional muestran que es posible aprovechar estas fuentes con pozos no muy profundos.

En conclusión, Jipijapa cuenta con un potencial geotérmico que podría sustentar una planta desalinizadora de tamaño pequeño, apoyado por su ubicación en una zona con actividad tectónica. Se sugiere trabajar con el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables para realizar perforaciones que confirmen las condiciones del subsuelo.

### **9.3 Selección de la Tecnología de Desalinización Óptima para Ecuador**

La evaluación de tecnologías de desalinización, considerando las condiciones geotérmicas, la infraestructura energética y el marco normativo de Ecuador, identificó la ósmosis inversa como la tecnología más viable para Jipijapa, integrando energía geotérmica para la generación de electricidad requerida por el proceso.

Aunque la ósmosis inversa requiere electricidad (3-6 kWh/m<sup>3</sup>), las fuentes termales de Jipijapa (40-70 °C) pueden alimentar un sistema de generación eléctrica geotérmica. Con un pozo geotérmico de 500-1000 m, con un caudal de 5-10 L/s, podría generar 50-100 kW, suficiente para operar una planta de 200 m<sup>3</sup>/día.

La ósmosis inversa es la tecnología de desalinización más utilizada a nivel mundial, con una muy buena eficiencia de conversión y un costo operativo de \$ 0,60-1,20/m<sup>3</sup>, que puede reducirse a \$ 0,50-0,80/m<sup>3</sup> con electricidad geotérmica (Ghaffour et al., 2013). Su diseño modular permite la escalabilidad, y las membranas semipermeables son ideales para tratar agua de mar con alta salinidad, común en la costa de Manabí. Además, los avances en membranas de alta eficiencia reducen el consumo energético, haciéndola competitiva frente a procesos térmicos.

La ósmosis inversa es adecuada para Jipijapa debido a la limitada infraestructura térmica existente, que dificulta procesos como la destilación multietapa. La generación eléctrica geotérmica puede complementarse con la red eléctrica nacional y otras fuentes como puede ser la solar, asegurando estabilidad operativa en un cantón con acceso intermitente a energía convencional. Además, la simplicidad de mantenimiento de los sistemas de ósmosis inversa facilita la capacitación de técnicos locales, en colaboración con instituciones como la Universidad Técnica de Manabí.

Finalmente, la ósmosis inversa, alimentada por electricidad generada a partir de fuentes geotérmicas, es la tecnología más adecuada para Jipijapa debido a su alta eficiencia, escalabilidad y capacidad de atender la demanda hídrica rural, asegurando un suministro de agua potable sostenible.

#### **9.4 Impacto Multidimensional en Jipijapa y Ecuador**

La implementación del sistema desalinizador geotérmico en Jipijapa tendría impactos significativos a nivel local y nacional.

La provisión de agua potable reduciría las enfermedades gastrointestinales, que afectan al 15-20 % de la población rural de Jipijapa debido al consumo de agua contaminada (Cuenca et al., 2025). Esto apoya el cumplimiento del ODS 6 y la Ley Orgánica de Recursos Hídricos.

La disponibilidad de agua impulsaría la agricultura del maíz, arroz y hortalizas, beneficiando a familias campesinas y generando ingresos por el mantenimiento de la planta, lo que fortalecería la economía local en un cantón con alta dependencia agrícola.

Asimismo, la energía geotérmica sería estable, por lo que podría suministrar agua continuamente incluso en época de sequía, un problema muy grave en Manabí, donde el río La Piladora se derrumbó en 2024 y afectó a 25 000 personas (Gobierno Autónomo Descentralizado de Jipijapa, 2024). A su vez, la integración con el ecoturismo del volcán Chocotete (senderismo, baños termales) podría atraer visitantes anuales, generando ingresos adicionales y promoviendo la conservación del bosque seco tropical

El sistema propuesto no solo aborda la crisis hídrica de Jipijapa, sino que también contribuye a los objetivos nacionales de desarrollo sostenible, fortaleciendo la salud, la economía y la resiliencia climática en Manabí, con potencial de replicarse en otras regiones costeras de Ecuador.

## CAPÍTULO VII. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

### 10.1 Conclusión

En coherencia con lo anterior, se concluye que la región de Manabí-Jipijapa posee un alto potencial geotérmico, respaldado por la evidencia expuesta en este trabajo.

Uso sostenible de subproductos: la salmuera resultante de la desalinización debe gestionarse mediante una dilución controlada para minimizar el impacto en el ecosistema marino vecino al pueblo de Jipijapa, con vocación en pesca y turismo. También se recomienda estudiar el reciclaje de salmuera deshidratada para fines industriales, por ejemplo, mediante la fabricación de sal comercial o materiales de construcción, promoviendo así prácticas de construcción de economía circular en la ingeniería civil.

Ahorro en energía geotérmica: la energía geotérmica no solo impulsa el proceso de desalinización, sino que también abastece bombas y sistemas automatizados. Esto permite disminuir el uso de la electricidad proveniente de las redes tradicionales. Utilizar el proyecto de esta manera tiene un impacto ambiental más pequeño que utilizar combustibles de origen fósil, lo cual también se ajusta a los principios de sostenibilidad.

Impacto social y replicabilidad: la construcción de una planta desalinizadora con geotermia en Jipijapa proporcionaría a las comunidades rurales acceso a agua potable e incrementaría los factores sociales mediante la generación de puestos de trabajo y la capacitación de la comunidad en el mantenimiento del sistema.

El modularidad de la propuesta permite incrementar la capacidad productiva en el futuro y facilitar la reproducción del modelo en otras áreas costeras de Ecuador que enfrentan el mismo problema de agua (Manta, Puerto López).

Contribución al desarrollo sostenible:

Este estudio no solo presenta una propuesta técnica específica, sino que también enfatiza la relación entre la ingeniería civil y los procedimientos hidráulicos

y los recursos renovables frente a problemas socioambientales. La estrategia planteada generará condiciones medibles y positivas en el acceso al agua (ODS 6) y energías renovables (ODS 7), avanzando hacia prácticas responsables del agua en Jipijapa y estableciendo puntos de referencia para otras iniciativas en el continente.

## **10.2 Recomendaciones**

Con base en los resultados de la investigación, se recomienda la implementación de un sistema piloto de desalinización mediante ósmosis inversa, con una capacidad inicial de 200-500 m<sup>3</sup>/día, diseñado para abastecer a 4000-10 000 habitantes en las áreas rurales de Jipijapa, donde solo el 30 % de los hogares tiene acceso a agua potable por red pública.

El sistema aprovechará las fuentes termales de Andil, Choconchá y Joa, vinculadas al volcán Chocotete y la cordillera Chongón-Colonche, que presentan temperaturas subterráneas estimadas de 60-80 °C y caudales de 5-10 L/s, según estudios preliminares. Para confirmar estas condiciones, se sugiere realizar perforaciones exploratorias en colaboración con el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, puesto que la falta de datos geotécnicos profundos limita la precisión de los gradientes térmicos de 30-40 °C/km.

La producción de energía geotérmica (50-100 kW) alimentará las bombas de alta presión, lo que permitirá reducir los costos de operación a \$ 0,50-0,80 por metro cúbico, frente a los \$ 0,60-1,20 por metro cúbico de los sistemas tradicionales, en concordancia con los lineamientos del Plan Nacional de Energía Renovable 2019–2030.

Además, se sugiere manejar la salmuera con un sistema de dilución controlada, de acuerdo con el Código Orgánico del Ambiente, y explorar la posibilidad de reciclarla para obtener sal comercial o materiales de construcción. Esto fomentará una economía circular que genere ingresos extra y reduzca el impacto en los ecosistemas marinos de Jipijapa, que son importantes para la pesca y el turismo. La participación de la comunidad será un pilar fundamental, siguiendo el ejemplo de la planta de Olkaria en Kenia, mediante comités locales que trabajen en coordinación con el

Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Jipijapa para enseñar a los habitantes a manejar el agua y mantener el sistema.

Asimismo, se sugiere establecer alianzas con la Universidad Técnica de Manabí para formar a técnicos locales en el manejo de membranas y sistemas eléctricos, asegurando la operación sostenible del proyecto. También se propone integrar el proyecto con el ecoturismo del volcán Chocotete, promoviendo rutas de senderismo y baños termales, y declarar esta zona como área protegida para conservar su biodiversidad y fuentes termales, además de enfrentar amenazas como la deforestación.

Este enfoque no solo contribuirá a resolver la crisis del agua, reduciendo la incidencia de enfermedades gastrointestinales que afectan al 15-20 % de la población rural, sino que también fortalecerá la economía local y apoyará el cumplimiento de los ODS 6, 7 y 13. De esta manera, Jipijapa podrá convertirse en un modelo que otras regiones costeras del Ecuador, como Manta, Puerto López, Santa Elena y Esmeraldas, puedan replicar.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, E., & Paredes, C. (2022). *Evaluación geotérmica en regiones volcánicas de Ecuador: Análisis geológico y geoquímico*. Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional.
- Almeida, E. (2023). *Potencial geotérmico en el Ecuador: Una revisión de las fuentes termales y su aprovechamiento energético*. s/e.
- Banco Mundial. (2017). *La Energía Geotérmica*. <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/geothermal>
- Briones, A. (2025). *La gestión del agua en Manabí y el país*. El Diario. <https://www.eldiario.ec/centro/opiniones/la-gestion-del-agua-en-manabi-y-el-pais/>
- Coral, B. (2024). *La configuración del territorio hidrosocial en la provincia de Manabí, Ecuador: Estudio de caso Traslase La Esperanza – El Aromo*. Universidad Central del Ecuador.
- Cuenca, C., Vera, Y., & Bachón, C. (2025). Salud pública y agua segura en Latinoamérica: Soluciones sostenibles frente al cambio climático. *Research, Society and Development*, 14(5). <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v14i6.49088>.
- Dickson, M., & Fanelli, M. (2004). *¿Qué es la Energía Geotérmica?* [https://www.lis.edu.es/uploads/812fe7d1\\_d505\\_4825\\_9db3\\_8438d78a406c.pdf](https://www.lis.edu.es/uploads/812fe7d1_d505_4825_9db3_8438d78a406c.pdf)
- Din, A., & Shams, E. (2008). *Impacto ambiental y evaluación del impacto de la desalinización de agua de mar*. s/e.
- Eslava, G., & Vargas, C. (2021). *Tecnologías de desalinización por congelación: Principios y aplicaciones*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Estupiñán, J. R. (2025). Salud pública y agua segura en Latinoamérica: Soluciones sostenibles frente al cambio climático. *Research, Society and Development*.
- Fernández, L., & Rojas, J. (2020). *Aprovechamiento en cascada de la energía geotérmica: Aplicaciones y casos internacionales*. Universidad Nacional de Colombia.

- Fernández, M., & López, A. (2020). *Otitis externa: Factores de riesgo y prevención en entornos acuáticos*. Editorial Médica Panamericana.
- Fibras y Normas de Colombia S.A.S. (s.f.). *Home*. <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/>
- Fondo para el Logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio [F-ODM]. (2018). *La gobernabilidad del agua en Ecuador*. Sustainable Development Goals Fund.
- Gleick, P. H. (2014). *The World's Water Volume 8*. Springer.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Jipijapa. (2024). *Informe sobre la crisis hídrica y sus impactos en el cantón Jipijapa*. <https://jipijapa.gob.ec/informe-crisis-hidrica>
- Gonzales, S. (2020). *Gas natural: Uso, ventajas y retos en la transición energética*. Ediciones Energéticas. s/e.
- Lattemann, S., & Höpner, T. (2008). Impacto ambiental y evaluación del impacto de la desalinización de agua de mar. *Desalinización*, 220. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.03.009>.
- Millero, F., & Poisson, A. (1981). Ecuación internacional de estado de una atmósfera del agua de mar. *Artículos de Investigación Oceanográfica*, 28. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(81\)90122-9](https://doi.org/10.1016/0198-0149(81)90122-9).
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2021). *Plan Nacional de Energía Renovable 2021-2030*. <https://www.recursosyenergia.gob.ec/plan-energia-renovable/>
- Morejón-Santistevan, M. E., & Soledispa-Parrales, J. P. (2025). Estrategias de gestión para el mejoramiento laboral de la empresa pública municipal de agua potable y alcantarillado sanitario de jipijapa. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada Yachasun*, 9(16), 147–160. <https://editorialibkn.com/index.php/Yachasun/article/view/592>.
- Nolivos, I., Álvarez, J., & Villacís, M. (2015). *Desafíos para la gestión sostenible de los recursos hídricos en Ecuador*. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.104>

- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenibles*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- Panagopoulos, A., Haralambous, K.-J., & Loizidou, M. (2019). Impactos ambientales de la desalinización y medidas de mitigación. *Boletín de Contaminación Marina*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111773>.
- Primicias. (3 de enero de 2025). *Agua potable: el desafío de las autoridades de Manabí para 2025*. <https://www.primicias.ec/sociedad/agua-potable-desafio-autoridades-manabi-86581/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2018). *Informe sobre el desarrollo humano y la gestión de recursos hídricos*. <https://www.undp.org/es/publications/informe-sobre-desarrollo-humano-2018>
- Programa Hidrológico Internacional UNESCO. (2013). *Desalinización en América Latina y el Caribe: Una perspectiva técnica*. UNESCO.
- Roldan, P. (2009). *Evaluación de las energías renovables no convencionales factibles de desarrollarse en el Ecuador*. [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1123>
- Rorldán, J. (2013). *Energías renovables. Lo que hay que saber*. Paraninfo.
- Sánchez, A., & Guangasig, V. (2023). Calidad Microbiológica del Agua de Consumo Humano. La realidad en el Ecuador. *Latam: revista latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9585943>.
- Siebert, L., Simkin, T., & Kimberly, P. (2019). *Volcanes del mundo*. University of California Press.
- Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K., & Tasa, D. G. (2019). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física*. Prentice Hall.
- Taylor, S. R., & McLennan, S. M. (2009). *Cortezas planetarias: su composición, origen y evolución*. Cambridge University Press.

Yergin, D. (2008). *El premio: La épica búsqueda del petróleo, el dinero y el poder*. Simon & Schuster.

Zambrano, J., Delgado, A., Zambrano, E., & Peñaherrera, S. (2022). *Contaminantes biológicos presentes en fuentes de agua del centro-sur de la provincia de Manabí, Ecuador*. Siembra.



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, José Arturo Zavala Macías con C.C: # 1205820895 y Luis Francisco Endara Molina C.C: # 0503612509 autores del trabajo de titulación: **Desalinización para potabilizar agua de mar mediante la integración con energía geotérmica en Jipijapa, Ecuador**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, a los 8 días del mes de septiembre del año 2025

f. \_\_\_\_\_

Zavala Macías, José Arturo

C.C: 1205820895

f. \_\_\_\_\_

Endara Molina, Luis Francisco

C.C: 0503612509



<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>			
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>			
<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	<b>Desalinización para potabilizar agua de mar mediante la integración con energía geotérmica en Jipijapa, Ecuador</b>		
<b>AUTOR(ES)</b>	<b>Zavala Macías, José Arturo y Endara Molina, Luis Francisco</b>		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Martínez Rehpani, Gilberto Martínez M.Sc.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	08 de septiembre del 2025	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	136
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Abastecimiento de sistema de agua potable, Hidráulica, Geología. Ingeniería ambiental		
<b>PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:</b>	Desalinización, energía geotérmica, sostenibilidad, escasez hídrica, ambiental.		
<p><b>RESUMEN:</b> La presente investigación se centra en el desarrollo de un sistema sostenible para desalinizar el agua de mar mediante el aprovechamiento de la energía geotérmica en el cantón Jipijapa, ubicado en la provincia de Manabí, Ecuador. Este proyecto surge como respuesta a la grave escasez de agua potable que enfrenta la población local, ocasionada por la falta de lluvia, la salinización de los acuíferos y la infraestructura limitada para el suministro de agua. El acceso garantizado al agua potable en Jipijapa no constituye únicamente un desafío técnico, sino también un problema estructural con un impacto directo en la salud, la sociedad y la economía local. La propuesta se enfoca en el uso de fuentes geotérmicas naturales presentes en el cantón, como Andil, Choconchá y Joa, los cuales ofrecen tanto la temperatura como la cantidad adecuada de agua para alimentar procesos de destilación térmica. Esta tecnología de desalinización resulta más eficiente y permite tratar el agua de mar de manera sostenible y efectiva. Asimismo, el uso del calor geotérmico como fuente de energía garantiza un funcionamiento constante, independientemente de las condiciones climáticas, y con bajas emisiones de carbono, lo que representa un aporte relevante en la lucha contra el cambio climático. La metodología de investigación contempla varias etapas principales. En primer lugar, se realiza un análisis comparativo de casos exitosos en otros países, con el fin de comprender cómo se han implementado sistemas similares. En segundo lugar, se estudian las características del potencial geotérmico local en el cantón Jipijapa, evaluando tanto las condiciones técnicas como la viabilidad financiera de las tecnologías de desalinización disponibles. En tercer lugar, se desarrolla un programa de sistema de prueba preliminar específicamente adaptado a las necesidades y condiciones del cantón. En cuarto lugar, se analiza el impacto social, ambiental y económico que este sistema podría generar, considerando beneficios como la mejora de la salud pública, la creación de empleos, el impulso al sector agrícola, el fortalecimiento de la resistencia pública frente a eventos climáticos extremos y el incremento del turismo.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593 983310636 +593 987926310	<b>E-mail:</b> Jose-arturo_2000@hotmail.com Luisfran0102@gmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre: Clara Catalina Glas Cevallos</b>		
	<b>Teléfono: +593 984616792</b>		
	<b>E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec</b>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			