

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



## **MAPA DE POTENCIAL GEOTÉRMICO DE EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

**EDUARDO ALDAIR ALVARO NAJARRO**

**RICARDO VLADIRMIR MORALES MOLINA**

**KEVIN ANTONIO VARGAS RIVERA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

CIUDAD UNIVERSITARIA DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

NOVIEMBRE DE 2022

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

**MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIO GENERAL:

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

SECRETARIO:

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DIRECTOR INTERINO:

**ING. WENER DAVID MELENDEZ VALLE**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Título :

**MAPA DE POTENCIAL GEOTÉRMICO DE EL SALVADOR**

Presentado por:

**EDUARDO ALDAIR ALVARO NAJARRO**  
**RICARDO VLADIRMIR MORALES MOLINA**  
**KEVIN ANTONIO VARGAS RIVERA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**DR. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMÉNEZ**

SAN SALVADOR, NOVIEMBRE DE 2022

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**DR. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMÉNEZ**

## NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, Miércoles 28 de septiembre de 2022, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 1:30 p.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE  
Director Interino

  
Firma

2. MSC. JOSÉ WILBER CALDERÓN URRUTIA  
Secretario

  
Firma



Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

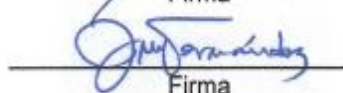
- DR. CARLOS OSMIN POCASANGRE JIMÉNEZ  
(Docente Asesor)

  
Firma

- ING. WERNER DAVID MELENDEZ VALLE

  
Firma

- ING. JOSE MIGUEL HERNANDEZ

  
Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

MAPA DE POTENCIAL GEOTÉRMICO DE EL SALVADOR

A cargo de los Bachilleres:

- ALVARADO NAJARRO EDUARDO ALDAIR

- MORALES MOLINA RICARDO VLADIMIR

- VARGAS RIVERA KEVIN ANTONIO

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final:

7.6

(*Seven punto seis*)

*El pasado no puede ser apagado, lo que aquí se hace, aquí se paga.*

*-Touya Todoroki*

## AGRADECIMIENTOS

### **Ricardo Vladimir Morales Molina:**

Agradezco primamente y profundamente a Dios, que me ha regalado vida, salud y ayuda en cada uno de las facetas de mi vida y me ha resguardado hasta el día de ahora, seguido del profundo agradecimiento de mis padres, Sandra Molina y Ricardo Morales, que con mucho esfuerzo y dedicación me apoyaron para poder lograr obtener un título universitario por lo cual les estaré eternamente agradecido.

Dicen que los amigos son los hermanos que uno escoge, es por ello que agradezco profundamente a mis queridas y preciadas amistades: Cesar Enrique, Luis Rivera e Hirvin Alveny, quienes han estado presentes desde la infancia y que han llegado hacer una parte importante en mi vida, personas que siempre me apoyaron, motivaron, ayudaron y creyendo en mí, gracias a ellos he podido lograr culminar otra etapa más en mi vida y que además me ha servido para crecer como persona.

Así mismo a una persona en especial Melany Alas, que me ha brindado su apoyo incondicionalmente durante las etapas más difíciles de mi carrera y de mi vida, una persona de grandes valores y gran corazón como ninguna otra persona que he conocido, también a mis compañeros de universidad quienes me apoyaron en los diferentes obstáculos universitarios entre ellos Julio Ayala, Adrián Trigueros, Marcos Diaz, Luis Sagastume entre muchos compañeros más, pero en especial a Steven Granados y Guillermo Cornejo que me ofrecieron de su conocimiento y apoyo en las etapas más críticas del proceso de titulación.

Por último, pero no menos importante a Reina Vides, secretaria de la Escuela de ingeniería eléctrica de la universidad, quien siempre me apoyo, cuido, oriento y aconsejo en cada proceso de formación académica.

## **Kevin Antonio Vargas Rivera:**

A mi madre. Mirna Azucena Rivera. Quien me ha brindado su apoyo, su incondicional amor, mi aliento, mi fuerza y guía para alcanzar esta meta que pocas personas alcanzan, Gracias por todo mamá.

A mi padre. Oscar Antonio Vargas, quien me ha brindado su apoyo para lograr este objetivo de ser una buena persona y ser profesional en el área eléctrica para solventar los problemas de las personas.

A mi hermano. Allan Josué Vargas, quien es como un segundo padre para mí, gracias por estar siempre ahí, aconsejándome y ayudándome en mis estudios con tus conocimientos. Gracias por tu apoyo y cariño.

A mis amigos. Rubén Henríquez Miranda, Christopher Monroy, Leonardo Romero y Enríquez Cerón. Gracias por su incondicional apoyo en los momentos más difíciles de la carrera, muchas noches de desvelos, fracasos, tristezas y alegrías.

Por último, pero no menos importante, agradecer a niña Reinita, por darnos siempre su consejo, su apoyo y su cariño durante toda la carrera.



## **Eduardo Aldair Alvarado Najarro:**

En la gran mayoría de situaciones la culminación de una carrera universitaria es un proceso en el cual el graduado no estuvo solo. Durante todo mi recorrido me encontré con personas que me brindaron su apoyo en diferentes situaciones tanto académicas y personales y no serían suficientes estas líneas para poder expresar mis más sinceros agradecimientos a todos ellos.

En primer lugar, agradezco a mi familia quien fue la principal fuente de apoyo en toda mi formación académica, desde mis primeros pasos cuando era niño hasta el día en el que completo mi carrera universitaria, a mi madre y mi padre por apoyarme y no dejarme solo y propiciar las condiciones para que pudiera tener lo necesario para completar mi formación académica. Siempre estaré agradecido por todo el amor recibido de su parte y por cada palabra de aliento que me brindaron, gracias a ellos por siempre creer en mí, más de lo que algunas veces yo lo hice. A mis tías Rosita y Estercita porque sin la formación que me proporcionaron muchos años atrás no hubiera podido llegar a donde estoy ahora.

A mis compañeros Ricardo Morales y Kevin Vargas que a pesar de lo complicado que pudiera parecer el camino y las diferencias que puedan presentarse durante todo nuestro recorrido se mantuvieron firmes en el objetivo de terminar este trabajo y aportaron lo mejor de sí mismos para lograrlo.

A la ASEIE, la Rama Estudiantil IEEE UES, que brindaron experiencias inolvidables a mi vida como estudiante universitario, sin ninguna duda mi recorrido por la Facultad de ingeniería y arquitectura no hubiera sido el mismo sin todo lo que pude aprender y vivir con todas las personas que componen ambas organizaciones, estoy seguro que aquí conocí a las personas con las que tendré una amistad de toda la vida.

A los docentes de la EIE y demás docentes universitarios quienes desde el primer día de clases hasta el día en el que hice el último parcial de la carrera me transmitieron sus conocimientos y moldearon la forma en la que abordaba los problemas que se me presentaban, donde quiera que vaya, los llevare conmigo en

todo mi desarrollo como profesional. Al personal Administrativo; al Sr. Posada, Sr. Juan por su apoyo e inolvidables historias que hacían más llevadero el estrés académico y en especial manera a Sra. Reina Vides por su apoyo moral y humano, necesario en los momentos más difíciles de este trabajo y durante la carrera.

A ti, joven, te agradezco por todo lo olvidado y lo vivido por todos aquellos días en los que encontramos la oportunidad de compartir un café y una buena conversación y sin saberlo contribuiste a que en los días buenos y no tan buenos no desistiera de seguir adelante.

Por último, agradezco a todas las amistades que hice durante todo mi recorrido en la Universidad, todos y cada uno de ellos aportaron historias inolvidables a mi vida que recordare por siempre sin cada una de esas vivencias no sería quien soy ahora y no hubiera vivido la bonita experiencia que es estudiar ingeniería.

# CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>OBJETIVOS</b> .....	4
➤ <b>GENERAL</b> .....	4
➤ <b>ESPECIFICOS</b> .....	4
<b>CAPITULO I</b> .....	5
<b>1.1. HISTORIA DE LA ENERGIA GEOTERMICA EN EL SALVADOR</b> .....	5
<b>1.2. FUNCIONAMIENTO DE LA ENERGIA GEOTERMICA.</b> ....	9
<b>1.3. LA ENERGIA GEOTERMICA ACTUALMENTE EN EL SALVADOR</b> .....	10
<b>1.4. RECURSOS GEOTERMICOS DE EL SALVADOR</b> .....	13
<b>CAPITULO II</b> .....	19
<b>2.1. ESTIMACION DEL RECURSO GEOTERMICO</b> .....	19
<b>2.2. TERMINOLOGÍA GEOTÉRMICA.</b> ....	21
<b>2.3. FACTORES PARA LA ESTIMACIÓN DE RECURSO GEOTÉRMICO.</b> .....	23
<b>2.4. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS.</b> .....	24
<b>2.4.1. FLUJO TÉRMICO SUPERFICIAL (SURFACE THERMAL FLUX)</b> .....	24
<b>2.4.2. VOLUMEN (VOLUME)</b> .....	26
<b>2.4.3. FRACTURA PLANAR (PLANAR FRACTURE)</b> .....	30
<b>2.4.4. BALANCE GEOTÉRMICO MAGMÁTICO (MAGMATIC HEAT BUDGET):</b> .....	32
<b>2.4.5. CONCLUSIÓN DE LOS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS                 GEOTÉRMICOS.</b> .....	33
<b>2.5. RECUPERABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE CONVECCIÓN HIDROTERMAL</b> .....	34
<b>2.6. SIMULACION MONTECARLO: ESTIMACION DE RECURSOS GEOTERMICOS</b> .....	36
<b>2.6.1. SIMULACION DE MONTECARLO</b> .....	36
<b>2.6.2. APLICACIÓN EN LA ESTIMACION DE RECURSOS GEOTERMICOS.</b> ....	37
<b>2.6.3. MODELO VOLUMÉTRICO PARA ESTIMACIÓN DE LA RESERVA GEOTÉRMICA</b> .....	39
<b>2.6.4. SIMULACIÓN DEL MODELO VOLUMÉTRICO</b> .....	41
<b>2.6.5. DATOS DE ENTRADA DE LA SIMULACIÓN DE MONTECARLO</b> .....	42
<b>2.6.6. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE MONTECARLO</b> .....	44
<b>CAPITULO III</b> .....	45
<b>3.1. CALCULO DEL POTENCIAL ELECTRICO USANDO HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES.</b> 46	
<b>4.1. PYTHON COMO HERRAMIENTA COMPUTACIONAL</b> .....	46
<b>4.2. PYTHON COMO HERRAMIENTA PARA EL CALCULO DE POTENCIAL GEOTERMICO.</b> .....	51
<b>4.3 GOOGLE COLAB COMO INTERFAZ GRAFICA.</b> .....	53

4.3.	SINTESIS DE ESTUDIO PARA LA EXTRACION DE INFORMACION GEOCIENFICA EN UN YACIMIENTO GEOTERMICO. ....	57
4.4.	ESTIMACION DEL POTENCIAL ELECTRICO CON PYTHON Y APLICACIONES DE GOOGLE. 61	
4.4.1.	CONEXIÓN ENTRE GOOGLE COLAB y GOOGLE DRIVE. ....	62
4.4.2.	CONEXIÓN ENTRE GOOGLE COLAB Y GOOGLE EARTH ENGINE .....	65
4.4.3.	PROGRAMACION DEL SCRIPT PARA EL CALCULO DEL POTENCIAL ELECTRICO CON GPPEVAL EN COLAB .....	69
4.4.4.	RESULTADO DE SIMULACION .....	77
4.4.5.	TABLA DE RECURSOS GEOTERMICOS A PARTIR DE LOS RESULTADOS .....	130
CAPITULO IV .....		132
4.1.	APLICACIÓN WED: MAPA HIDROTERMAL DE EL SALVADOR .....	132
4.2.	ESTRUCTURA GENERAL .....	132
4.3.	ESTRUCTURA FRONTEND Y BACKEND .....	133
4.3.1.	EL BACKEND .....	133
4.3.2.	EL FRONTEND .....	134
4.4.	ESTRUCTURA API .....	136
4.5.	GUIA DE DESARROLLO DE APLICACIÓN WEB: .....	136
4.5.1.	INSTALACION DE VISUAL STUDIO CODE .....	136
4.5.2.	PROGRAMACION DEL FRONTEND .....	138
4.5.3.	PROGRAMACION DEL BACKEND .....	146
4.5.4.	SERVIDOR APACHE .....	161
4.5.5.	RESULTADOS .....	163
CONCLUSIONES .....		165
BIBLIOGRAFÍA .....		166
ANEXO .....		168

## LISTA DE FIGURAS:

Figura 1: Mapa de ubicación de ejes principales de anomalías geotérmicas. ....	7
Figura 2: Boletín estadístico de inyecciones de energía por recurso del mes de enero 2022 publicado por la UT. ....	11
.....	13
Figura 3: Generación Mensual de energía geotérmica (2016-2021). ....	13
Figura 4: Ubicación de puntos calientes hidrotermales según inventario de sistemas hidrotermales de El Salvador. ....	18
Figura 5: Diagrama de subdivisión lógica de la base de los recursos geotérmicos. ....	21
Figura 6: Diagrama de McKelvey que representa la división lógica de la base de recurso geotérmico según el grado de viabilidad económica (eje vertical) y el grado de seguridad geológica (eje horizontal). ....	22
Figura 7: Diagrama esquemático del modelo de fractura planar, $T_0$ temperatura inicial de la roca, $T_r$ temperatura del fluido de recarga, $T_m$ temperatura mínima de salida tras el tiempo de producción, $d$ = distancia mínima entre fracturas para que la interacción térmica entre ellas sea despreciable. ....	31
Figura 8: Factor teórico de recuperación geotérmica (calor recuperado dividido por el calor originalmente en el yacimiento) en % respecto a 15°C en función de la temperatura del yacimiento y la porosidad. añadiendo la limitación de presión final de 2,5 bares. ....	35
Figura 9. Metodología para el análisis de la incertidumbre. ....	38
Figura 10: Distribución triangular. ....	44
Figura 11: Distribución uniforme. ....	44
Figura 12: resultados de Montecarlo curva de frecuencia y probabilidad para la estimación de recursos geotérmicos. ....	45
Figura 13: Logo del lenguaje de programación Python ....	47
Figura 14: Librería GPPEVAL en Pypi. ....	48
Figura 15: Gráficos ejemplos de la librería GPPEVAL para el recurso geotérmico Nombre de Jesús. ....	50
.....	50
Figura 20: Celdas de Google COLAB ....	54
Figura 21: Formularios en COLAB. ....	55
Figura 23: Ejemplo de vinculación de GIT-HUB con COLAB. ....	56
Figura 24: diferencia de almacenamiento para cuentas normales e institucional. ....	56
Figura 25: Esquema de vinculación entre Python y otras aplicaciones de alta tendencia en el estudio geotérmico. ....	57
Figura 26: resultados del método gravimétrico. ....	58
Figura 27: resultados del método magnetolúrico. ....	59
Figura 28: Geotermómetro de Na/K y diagrama de Giggenbach. ....	60
Figura 29: Script de vinculación entre COLAB y DRIVE. ....	62
Figura 30: Solicitud de permiso de COLAB. ....	63
Figura 31: selección de cuenta Google. ....	63
Figura 32: acciones que podemos realizar desde COLAB. ....	64
Figura 33: Archivos en nuestro almacenamiento de Google Drive. ....	64
Figura 34: Archivos de parámetros geotérmicos en extensión csv. ....	65

Figura 34: Solicitud de permiso para Google Earth Engine.....	65
Figura 35: Generación de token para conexión con COLAB. ....	66
Figura 36: Selección de la cuenta de Google.....	66
Figura 37: Mensaje de Google.....	67
Figura 38: Solicitud de permiso para Earth Engine. ....	67
Figura 39: Código de autorización o token. ....	68
Figura 40: Introducción del código de autorización.....	68
Figura 41: Mensaje de autorización. ....	68
Figura 42: Instalación de librerías en COLAB. ....	69
Figura 43: Llamado de librerías.....	70
Figura 44: scripts para manipulación de variable de forma automática y archivos csv.....	70
Figura 45: Llamado de nuevas funciones y librerías para manejo de mapas. ....	71
Figura 46: código para la creación del mapa con sus respectivos controles. ....	72
Figura 47: script final con la ejecución del código GPPEVAL.....	73
Figura 48: Ubicación del recurso geotérmico y gráficos de frecuencias.....	75
Figura 50: Análisis estadístico del recurso geotérmico Durazneño. ....	79
Figura 51: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico de Durazneño. ....	80
Figura 52: Análisis estadístico del recurso geotérmico Carolina.....	83
Figura 53: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico de Carolina.....	84
Figura 54: Análisis estadístico del recurso geotérmico Nombre de Jesús. ....	86
Figura 55: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Nombre de Jesús. ....	87
Figura 56: Análisis estadístico del recurso geotérmico Los Toles. ....	89
Figura 57: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Los Toles. ....	90
Figura 58: Análisis estadístico del recurso geotérmico Los Salitres.....	92
Figura 59: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Los Salitres. ....	93
Figura 60: Análisis estadístico del recurso geotérmico El Sauce.....	95
Figura 61: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico El Sauce. ....	96
Figura 62: Análisis estadístico del recurso geotérmico Caluco. ....	98
Figura 63: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Caluco. ....	99
Figura 64: Análisis estadístico del recurso geotérmico Guija.....	101
Figura 65: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Guija.....	102
Figura 66: Análisis estadístico del recurso geotérmico Agua Caliente.....	104
Figura 67: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Agua Caliente.....	105
Figura 68: Análisis estadístico del recurso geotérmico Obrajuelo-Lempa.....	107

Figura 69: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Obrajuelo-Lempa. ....	108
Figura 70: Análisis estadístico del recurso geotérmico Conchagua. ....	110
Figura 71: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Conchagua. ....	111
Figura 72: Análisis estadístico del recurso geotérmico Coatepeque. ....	113
Figura 73: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Coatepeque. ....	114
Figura 74: Análisis estadístico del recurso geotérmico Chilanguera.....	116
Figura 74: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Chilanguera.....	117
Figura 75: Análisis estadístico del recurso geotérmico Texistepeque. ....	119
Figura 76: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Texistepeque. ....	120
Figura 77: Análisis estadístico del recurso geotérmico Santa Rosa. ....	122
Figura 78: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Santa Rosa. ....	123
Figura 79: Análisis estadístico del recurso geotérmico San Lorenzo .....	125
Figura 80: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico San Lorenzo. ....	126
Figura 81: Análisis estadístico del recurso geotérmico El Paraíso. ....	128
Figura 82: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico El Paraíso.....	129
Figura 83: se muestra la estructura básica.....	132
Figura 84: Estructura Backend .....	133
Figura 85: Estructura Frontend .....	135
Figura 86: Estructura API.....	136
Figura 87: Secuencia de instalación del programa Visual Studio Code.....	138
Figura []: Entorno de trabajo de Visual Studio Code.....	138
Figura 88: Creación de carpeta: Mapa Hidrotermal .....	139
Figura 89: Archivos principales almacenados en la carpeta Mapa Hidrotermal. ....	139
Figura 90: Resultado obtenido, primera prueba.....	142
Figura 91: Resultado obtenido, segunda prueba. ....	146
Figura 92: Instalación de extensión Remote SSH.....	147
Figura 93: Enlace SSH al servidor de la Universidad de El Salvador.....	148
Figura 94: Carpeta Leaflet con los archivos creados, dentro del servidor de la universidad.....	149
Figura 95: Contenido carpeta Leaflet en el servidor.....	150
Figura 96: Creación de la base da dato llamada hidrotermla_puntos.....	153
Figura 97: Base de datos en PostgreSQL.....	153
Figura 98: Base de datos .....	154
Figura 99: Introducción de los datos obtenidos de las diferentes manifestaciones en la tabla “coords” .....	155
Figura 100: Tabla de datos “coords” mostrada en el puerto 443 del servidor.....	157
Figura 101: Contenido de carpeta Leaflet en la dirección var/www/Leaflet.....	162

Figura 102: Configuración del archivo 000-default.cof.....	162
Figura 103: Configuración del archivo creado gis.conf.....	163
Figura 104: Contenido dirección IP:168.232.50.6:443.....	164
Figura 105: Contenido dominio <a href="http://geociencia.fia.ues.edu.sv/">http://geociencia.fia.ues.edu.sv/</a> .....	164



## LISTA DE TABLAS:

Tabla 1: Boletín estadístico de inyecciones por recurso inyectado del mes de enero 2022 publicado por la UT.....	12
Tabla 2: Tipos de energía geotérmica según la temperatura del material.....	15
Tabla 4: parámetros de incertidumbres.....	43
Tabla 5: Parámetros de reservorio.....	61
Tabla 6: Temperatura, Densidad y Calor Especifico.....	62
Figura 49: Análisis estadístico y parámetros de entrada.....	76
Tabla 7: Parámetros del reservorio geotérmico Durazneño.....	77
Tabla 8: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Durazneño..	78
Table 9: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Carolina.....	82
Tabla 11: Parámetros del reservorio geotérmico Nombre de Jesús.....	85
Tabla 12: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Nombre de Jesús.....	85
Tabla 13: Parámetros del reservorio geotérmico Los Toles.....	88
Tabla 14: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Los Toles. ..	88
Tabla 15: Parámetros del reservorio geotérmico Los Salitres.....	91
Tabla 16: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Los Salitres.	91
Tabla 17: Parámetros del reservorio geotérmico El Sauce.....	94
Tabla 18: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico El Sauce.....	94
Tabla 19: Parámetros del reservorio geotérmico Caluco.....	97
Tabla 20: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Caluco.....	97
Tabla 21: Parámetros del reservorio geotérmico Guija.....	100
Tabla 22: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Guija.....	100
Tabla 23: Parámetros del reservorio geotérmico Agua Caliente.....	103
Tabla 24: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Agua Caliente.....	103
Tabla 25: Parámetros del reservorio geotérmico Obrajuelo Lempa.....	106
Tabla 26: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Obrajuelo-Lempa.....	106
Tabla 28: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Conchagua.....	109
Tabla 29: Parámetros del reservorio geotérmico Coatepeque.....	112
Tabla 30: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Coatepeque.....	112

Tabla 31: Parámetros del reservorio geotérmico Chilanguera. ....	115
Tabla 32: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Chilanguera. .....	115
Tabla 33: Parámetros del reservorio geotérmico Texistepeque.....	118
Tabla 34: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Texistepeque .....	118
Tabla 34: Parámetros del reservorio geotérmico Santa Rosa.....	121
Tabla 35: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Santa Rosa. .....	121
Tabla 36: Parámetros del reservorio geotérmico San Lorenzo.....	124
Tabla 37: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico San Loreno. .....	124
Tabla 38: Parámetros del reservorio geotérmico El Paraíso.....	127
Tabla 39: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico El Paraíso.	127
Tabla 40: Tabla de recursos geotérmicos a partir de los resultados.....	130
Tabla 41: Tabla de recursos geotérmicos a partir de los resultados.....	131

## RESUMEN

Existe una gran cantidad de manifestaciones hidrotermales en El Salvador, sin contar las que ya están siendo explotadas en las centrales de generación geotérmica ubicadas en Ahuachapán y Berlín, adicionalmente se tiene una gran cantidad de estudios en este tema, sin embargo, no se cuenta con un mapa de potencial geotérmico que identifique cada lugar en El Salvador. Este mapa muestra la cantidad de recurso energético que puede ser teóricamente estimada por el área factible para la instalación del sistema de explotación geotérmica (Ministerio de Medio Ambiente de Japón, 2011). Excluye la cantidad de energía que es difícil de utilizar en función del nivel tecnológico actual y no tiene en cuenta varios factores limitantes (como la inclinación del terreno, las restricciones legales, el uso del suelo, la distancia desde un área residencial y otros). Toda esta información se encuentra dispersa en diferentes documentos lo cual genera problemas a la hora de analizar y valorar el potencial de energía geotérmica de cada zona en específico lo cual justifica el uso de mapa del recurso geotérmico.

Son muchos los problemas vinculados al cambio climático que azotan al planeta tierra actualmente y a medida el tiempo avanza estos problemas empeoran a una velocidad alarmante, esto ha obligado a muchos gobiernos del mundo a centrar su atención en esto y darle un nivel de importancia pública y social como problema socioeconómico, en la medida que revierte el crecimiento, impacta en la competitividad económica de la gran mayoría de las actividades productivas, en la reestructuración y tendencias de los mercados internacionales y sus regulaciones, en el desarrollo sostenible del país en su conjunto. Esto a su vez ha provocado que muchos países impulsen iniciativas para diversificar su matriz energética, en función de minimizar el uso de combustibles fósiles, esto conlleva a impulsar estudios que exploren la posibilidad de explotar nuevas formas de energía y diversificar la matriz energética reduciendo de esta forma la dependencia de combustibles fósiles.

en la reducción de posibilidades de superación de la pobreza y las desigualdades sociales y en las condiciones físico-ambientales y psicosociales del bienestar ciudadano.



En esencia este estudio puede dividirse en 3 fases principales:

- Identificar las anomalías térmicas más importantes y de las que se cuenta con información suficiente para un estudio detallado posteriormente.
- Clasificar estas anomalías en función de su entalpía para poder establecer las diferentes características de cada una de las zonas y hacer una distinción entre las mismas clasificándolas en Baja, media y alta entalpía.
- Presentar un mapa de potencial geotérmico haciendo uso de los resultados obtenidos en las 2 fases anteriores donde se muestran las temperaturas mediante curvas de nivel de cada uno de los puntos mostrando una estimación del potencial geotérmico de cada punto.

Este trabajo se enfocará en realizar un estudio para identificar las temperaturas de las diferentes anomalías térmicas de los cuales se tiene conocimiento en El Salvador, clasificándolas en baja, media y alta entalpía. El estudio se enfocará en temperaturas elevadas mayores a los 150°C, las cuales se consideran de mayor potencial para su posible explotación para generación de energía eléctrica, validando dichos datos con mediciones en el terreno. Las anomalías hidrotermales serán ubicadas en un mapa usando tecnología de Sistemas de Información Geográfica junto a una base de datos empleando PostgreSQL, la metodología será la siguiente:

- Se estudiará los puntos de los cuales se tenga datos y bibliografía disponible.
- Para identificar las anomalías y sus datos de temperatura, así como los rangos de temperatura para su clasificación, se utilizarán estudios previos de diversas zonas del país que documenten las anomalías térmicas más importantes.
- Se utilizarán imágenes satelitales documentadas y de libre distribución, con la finalidad de estudiar las zonas de interés y aplicar técnicas de preprocesamiento de imágenes satelitales para mejorar su resolución espacial y aplicar otras correcciones necesarias para el procesado de las múltiples capas que componen el mapa final.



- Las imágenes satelitales que se utilizarán en esta investigación dependerán de la disponibilidad de éstas, en caso no existieran coincidencias de imágenes de la zona de estudio dentro del periodo de tiempo establecido como límite, se utilizarán imágenes más antiguas en el mismo periodo de tiempo.
- El procesamiento de imágenes se realizará en software QGIS de libre distribución junto a la creación de una base de datos usando PostgreSQL.



## OBJETIVOS

### ➤ GENERAL

- Generar un mapa de potencial geotérmico que muestre las diferentes temperaturas en cada uno de los puntos tomados en el estudio de manera gráfica, basándose en los datos y estudios anteriores disponibles.

### ➤ ESPECIFICOS

- Identificar las principales anomalías térmicas del país.
- Clasificar las anomalías térmicas previamente identificadas en baja, media y alta entalpia.
- A partir de las capas creadas en el proceso de generación del mapa, generar una base de datos de consulta abierta.
- Crear una base de datos usando GIS + PostgreSQL.



# CAPITULO I

## 1.1. HISTORIA DE LA ENERGIA GEOTERMICA EN EL SALVADOR

El Salvador es un país muy joven geológicamente hablando, tres cuartas partes del territorio que compone a El Salvador está cubierta por roca de edad terciaria y una cuarta parte del territorio es de edad pleistocénica, en la cual predomina la época pliocénica. Por eso, las capas de edad cretácica, que cubren aproximadamente un 5% del territorio salvadoreño no juegan un papel significativo en la formación geológica general de la república (SCHIAIDT-THOMÉ, 1975).

El Salvador debido a su particular ubicación en el cinturón de fuego del pacifico, la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa Caribe provoca diferentes fenómenos: por una parte, una intensa actividad sísmica y por otra la fusión de rocas de la corteza terrestre sometidas a altas temperaturas y presiones.

Se conocen tres sistemas de debilidad tectónica, el más importante de los cuales es el WNW. Se caracteriza por un gran desplazamiento vertical a lo largo de la república, formando un valle o grieta. En este sistema se reconocen cinco ejes:

El primer eje: Forma el límite sur de la cordillera norte y está representado por desviaciones longitudinales de unos 1000 m. El segundo eje: se caracteriza por la actividad volcánica individual en el mar en la parte norte del país. El tercer eje: Está ubicado en el extremo sur. Es el más importante, con divisiones tectónicas (la más importante de las cuales es el de campo traviesa, el cráter central) y con un pequeño volcán individual, parte del cual todavía está activo. También hay depresiones tectónicas volcánicas y domos de lava. Cuarto Eje: Se ubica en el Océano Pacífico, a 25 km de la costa de El Salvador, y se caracteriza por una frecuente actividad sísmica. El Quinto Eje: Se ubica hacia el sur, forma una trinchera paralela a la costa salvadoreña y muestra cierta actividad sísmica. Hay picos en forma de cono que se elevan a más de 3000 metros sobre el nivel del mar, que se consideran volcanes (Durr, s.f.).



La mayor parte del territorio salvadoreño está cubierta por roca de origen volcánico de carácter riolítico hasta basáltico. Al Norte de los ríos Lempa y Torola afloran rocas de carácter ácido. Se trata de productos piroclásticos de colores claros los cuales se deben considerar litológicamente como rolitas hasta dacitas, además una gran parte de El Salvador está cubierta por una cadena montañosa volcánica que consta de sucesivas características de andesita a basaltos para aglomerar características de andesita; El espesor de esta capa antigua es de más de 1500 m.

En El Salvador, hay una serie de volcanes jóvenes, paralelos a la costa del Océano Pacífico, que forman parte del anillo de fuego que rodea el Océano Pacífico, por lo cual es un país volcánico muy activo, comprendiendo en su territorio al menos 170 volcanes, de los cuales 14 son volcanes activos y 6 se encuentran en monitoreo constante ante peligro de erupción. (MARN , 2020)

Por lo anterior mencionado, y su larga cadena volcánica, en el país existen puntos importantes de generación, es por ello por lo que a finales de los años 50 se inicia la exploración geotérmica en El Salvador principalmente por la explotación de recursos naturales disponibles y la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles. Con los estudios y exploraciones realizados los resultados obtenidos se tuvieron 28 manifestaciones geotérmicas identificadas a nivel de territorio nacional de las cuales 24 áreas fueron encontradas activas, 12 sistemas fueron considerados como altas temperaturas ( $T > 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y 12 sistemas con temperaturas baja-intermedia ( $90\text{-}150\text{ }^{\circ}\text{C}$ .) En los sistemas de alta temperatura se identificaron 5 (Ahuachapán, Berlín, Chipilapa, Parras Lempa y Santa rosa de Lima) que recibieron una mayor atención para una detallada investigación (La Geo S.A. DE C.V, 2017).

Basado en análisis químicos y mediciones de temperatura de aguas termales, fumarolas y pozos calientes, las áreas geotermales del país pueden clasificarse en dos principales sistemas.

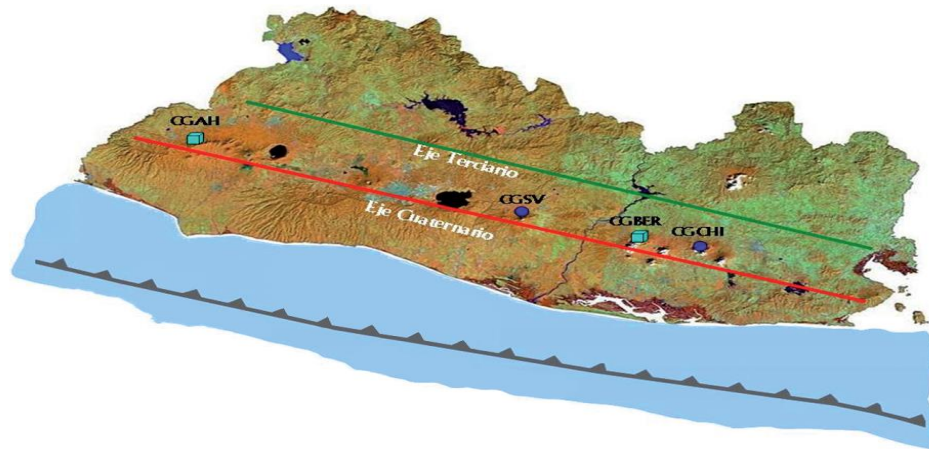
1 -Un sistema termal del sur que consta de manantiales calientes y volcanes asociados con áreas de la cadena volcánica joven y es el único sistema





geotérmico que muestra signos de altas temperaturas en las profundidades ( $T > 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

2- Un sistema geotérmico en el norte, es decir, que consta de principalmente de zonas de aguas termales asociadas a la cadena Terciario del país.



*Figura 1: Mapa de ubicación de ejes principales de anomalías geotérmicas.*

Algunos acontecimientos importantes en el desarrollo de la Geotermia en El Salvador se resumen a continuación (La Geo S.A. DE C.V, 2017):

- Estudios de exploración iniciales: 1958.
- Perforación del primer pozo Ahuachapán (AH-1): 1968.
- Después de concluir los estudios y con el apoyo financiero del Banco Mundial, entra en operación primera Unidad a condensación en Ahuachapán (30 MWe): 1975.
- Entrada en operación UNIDAD II EN Ahuachapán (30 MWe.): 1976.
- Es puesta en operación la Unidad III en Ahuachapán (35 MWe): fue puesta en servicio en 1981. La capacidad instalada total de la central geotérmica de Ahuachapán es de 95 MW. En el mismo año, debido a la situación sociopolítica, la mencionada central se vio obligada a generar cerca del 41% del consumo nacional de energía eléctrica, lo que repercutió
- negativamente en el recurso. Por esta razón, las actividades de instalación y restauración del sitio comenzaron en ese momento.

- Se inicia la producción del Campo Geotérmico de Berlín con la instalación de dos unidades Bocapozo (10 MWe): 1992.
- Con los estudios de factibilidad se decidió perforar 16 nuevos pozos y construir una nueva planta de condensación con dos unidades de 28 MWe. cada una. La fábrica entró en operación comercial y las unidades de Bocapozo dejaron de funcionar: 1999.
- Proyecto Estabilización Ahuachapán: 1995-1999.
- Proyecto Optimización Ahuachapán: 2003-2008 perforación de 2 pozos productores y 1 reinyector.
- Reinyección Total Ahuachapán: 2002-2004.
- Sale de operación canaleta al mar de Ahuachapán: 2004.
- Reinyección Total Berlín: 2005-2008.
- Entrada en operación Unidad III en Berlín (44 MWe.): 2007.
- Entrada en operación Unidad IV Ciclo Binario Berlín (9.4 MWe): 2007-2008.

El Salvador ha sido uno de los líderes mundiales en uso renovable desde el inicio de la explotación minera de Ahuachapán, sin embargo, se ha notado un efecto de enfriamiento por un lado debido al contacto directo con la zona. Producido por la proximidad a pozos renovables. Por otro lado, tiene un efecto de apoyo positivo de soporte en la presión de reservorio.



## 1.2. FUNCIONAMIENTO DE LA ENERGIA GEOTERMICA.

### **ENERGIA GEOTERMICA.**

La energía geotérmica es un campo científico que se especializa en el estudio del calor debajo de la superficie de la Tierra. También se le conoce con el mismo nombre por el proceso mediante el cual se extrae la energía geotérmica para su uso posterior principalmente como energía eléctrica. En otras palabras, la energía geotérmica es energía que utiliza energía térmica almacenada dentro de la tierra en forma de agua caliente, vapor y roca seca caliente.

La energía geotérmica utiliza el calor irradiado naturalmente desde el interior de la Tierra, se almacena y se transmite a través de rocas brillantes que entran en contacto con fluidos extremadamente calientes y producen sistemas geotérmicos. Se trata de una de las fuentes de energía renovables más potentes actualmente.

La energía geotérmica se señala como una fuente de energía eléctrica mayoritariamente, si bien esto sería el caso ideal en un principio, se tiene limitantes en cuanto al calor producido en el interior de la tierra no sea el suficientemente fuerte para producir energía (Temperaturas por debajo de los 100 °C.)

La radiación solar ya no afecta a la Tierra a determinadas profundidades. A partir de este punto, la temperatura del suelo aumenta al aumentar esta profundidad. En otras palabras, cuanto más cerca está el magma de la Tierra, más caliente se vuelve el subsuelo. En lugares donde hay actividad volcánica o hay movimiento significativo de placas tectónicas, el calor del magma terrestre es más superficial. En estos lugares, hay muchas áreas de roca seca o fundida caliente. El calor del magma eleva la temperatura del agua subterránea y produce vapor.

Las centrales geotérmicas aprovechan este calor emanado del subsuelo para producir energía renovable. A través de grietas en formaciones rocosas, el agua caliente y los vapores de fuentes de calor (como el manto poco profundo y / o la contracción de



la corteza terrestre) suben a la superficie, donde son interceptados por pozos geotérmicos o también llamados pozos de extracción. El vapor del pozo luego se transfiere a tubos llamados tubos de vapor y luego se envía al motor de arranque de una turbina, donde la energía se convierte en energía mecánica rotacional. El eje de la turbina está conectado al rotor del alternador que, al girar, transforma la energía mecánica en electricidad alterna, que se transmite al transformador para su posterior transmisión para su uso comercial.

El vapor que sale de la turbina se convierte a un estado líquido en el condensador, mientras que los gases no condensables en el vapor de agua subterránea se dispersan en la atmósfera después de tratamientos específicos para reducir los principales contaminantes, como el dióxido de azufre, el hidrógeno y el mercurio, plantas de reducción de sulfuro de hidrógeno (AMIS).

Las torres de enfriamiento enfrían el agua generada por la condensación del vapor de agua. Esto es cuando se usa agua fría en el condensador para bajar la temperatura del vapor, o se bombea nuevamente a las profundas fisuras de la roca mediante pozos renovables, para iniciar un nuevo ciclo de producción de energía renovable.

### 1.3. LA ENERGIA GEOTERMICA ACTUALMENTE EN EL SALVADOR

La matriz energética de El Salvador se abastece básicamente de tres fuentes energéticas: la energía térmica, la energía hidroeléctrica y la energía geotérmica, mientras que la energía solar gradualmente va ganando espacio, pero de manera focalizada y en muy pequeños proyectos, esto se puede observar en la figura 2, matriz energética de El Salvador en enero de 2022.

La geotermia, una de las fuentes de energía más tradicionales del país, satisface actualmente el 22.65% del total de electricidad consumida en el mercado interno (UT. Unidad de Transacciones , 2022) El salvador ha sido el país latinoamericano pionero en la utilización del recurso geotérmico para la generación de energía eléctrica. y,



comparada con otras fuentes, suministra una energía estable y fiable, a un costo relativamente bajo, sin intermitencias y con escasos riesgos operativos o tecnológicos.

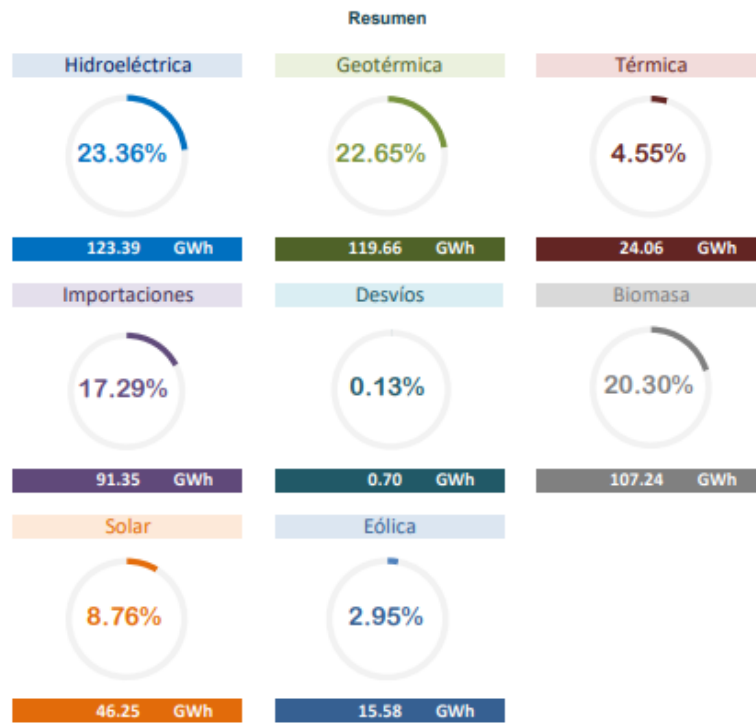


Figura 2: Boletín estadístico de inyecciones de energía por recurso del mes de enero 2022 publicado por la UT.

Los primeros campos geotérmicos en El Salvador fueron levantados en los años 70 con financiación del Banco Mundial. Hoy, la capacidad geotérmica instalada es de 204 MW como se puede observar en la figura 3, de las inyecciones por recurso inyectado actualmente a la fecha de mes de enero del 2022. En El Salvador, la empresa que se dedica a la producción de energía eléctrica a partir del calor de la tierra, es decir, utilizando los recursos geotérmicos, es La Geo S.A. de C.V, una subsidiaria de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL).

Participante de mercado	Enero 2021		Var. %	Acumulado Anual <sup>2/</sup>		Últimos 3 meses <sup>2/</sup>		Últimos 12 meses <sup>2/</sup>	
	GWh	Var. % <sup>2/</sup>	Anual <sup>2/</sup>	GWh	Var. %	GWh	Var. %	GWh	Var. %
Hidroeléctrica	123.4	-7.0	79.7	123.4	79.7	172.2	68.3	170.0	42.4
Geotérmica	119.7	1.8	5.4	119.7	5.4	118.6	0.0	121.3	6.5
Térmica	24.1	-5.1	-71.3	24.1	-71.3	28.8	-67.2	69.1	-48.4
Biomasa	107.2	8.4	-1.3	107.2	-1.3	69.8	-14.4	45.7	-1.3
Solar	46.3	1.8	19.3	46.3	19.3	42.0	52.2	42.1	108.7
Eólica	15.6	35.2		15.6		9.9		2.5	
Iny. Nacional	436.2	1.1	5.5	436.2	5.5	441.1	5.6	450.7	4.0
Importaciones	91.4	15.0	-25.3	91.4	-25.3	80.2	-28.5	61.9	-48.1
<b>Total inyectado</b>	<b>527.5</b>			<b>527.5</b>					



*Tabla 1: Boletín estadístico de inyecciones por recurso inyectado del mes de enero 2022 publicado por la UT.*

La Geo S.A es una empresa dedicada a la producción de energía eléctrica utilizando los recursos geotérmicos del país. Es una empresa del grupo CEL que cuenta con dos grandes centrales geotérmicas: Una en Ahuachapán y otra en Berlín.

- **Central geotérmica Ahuachapán**

La central geotérmica Ahuachapán se ubica a 103 km al oeste de la capital, en la región norte de la Sierra de Apaneca, conocida como estado de Santa Rosa Acacalco, municipio y departamento de Ahuachapán. La construcción comenzó en 1972 y la operación comercial comenzó en septiembre de 1975 con una unidad de 30 MW que usaba vapor de 5,6 bar; al año siguiente se añadió otra central de similares características, y en 1980 se añadió una tercera central con una capacidad de 35 MW, que se diferencia de las dos primeras en que, además de 5,6 bar de vapor, también utiliza 1,6 bar. El área del campo geotérmico donde se ubican los pozos de producción es de aproximadamente 2,5 km<sup>2</sup>, las profundidades de los pozos van desde los 600 hasta los 2750 metros, y actualmente se han perforado 56 pozos entre producción, recarga, monitoreo y otros pozos (La Geo S.A. DE C.V, 2017).

- **Central geotérmica Berlín**

La central geotérmica de Berlín se ubica a unos 106 km al este de la capital, en la región norte del complejo volcánico Tekapa, en el estado Sapotillo del municipio de Alegría en la provincia de Usulután. En 1999 se pusieron en operación dos unidades condensadoras con una capacidad de 28,1 MW cada unidad; en febrero de 2007 se incorporó una unidad condensadora de 40 MW; y en diciembre del mismo año se sumaron 9,2 MW, generados por la unidad en un ciclo binario usa agua bombeada para evaporar el isopentano, que actúa como un líquido activo. El área del campo geotérmico es de aproximadamente 8 km<sup>2</sup>, la profundidad del pozo es de 500 a 3455 metros. Actualmente cuenta con 37 pozos entre pozos de producción, refiltración y monitoreo (La Geo S.A. DE C.V, 2017).



Las estadísticas de generación de la energía geotérmica en los últimos años (2016-2021) se ha mantenido como se observa en la figura 3, extraída de Centro Nacional de Energía. Esta energía se verá aumentada con el desarrollo de nuevas plantas geotérmicas en San Vicente (Con una capacidad de 25 MW) y Chinameca (Con una capacidad de 10 MW) al oriente del país, así como también una expansión tanto de la geotérmica instalada en Berlín como la de Ahuachapán. Ambos proyectos se espera que se desarrollen en el periodo 2021-2023 (UT. Unidad de Transacciones , 2022).

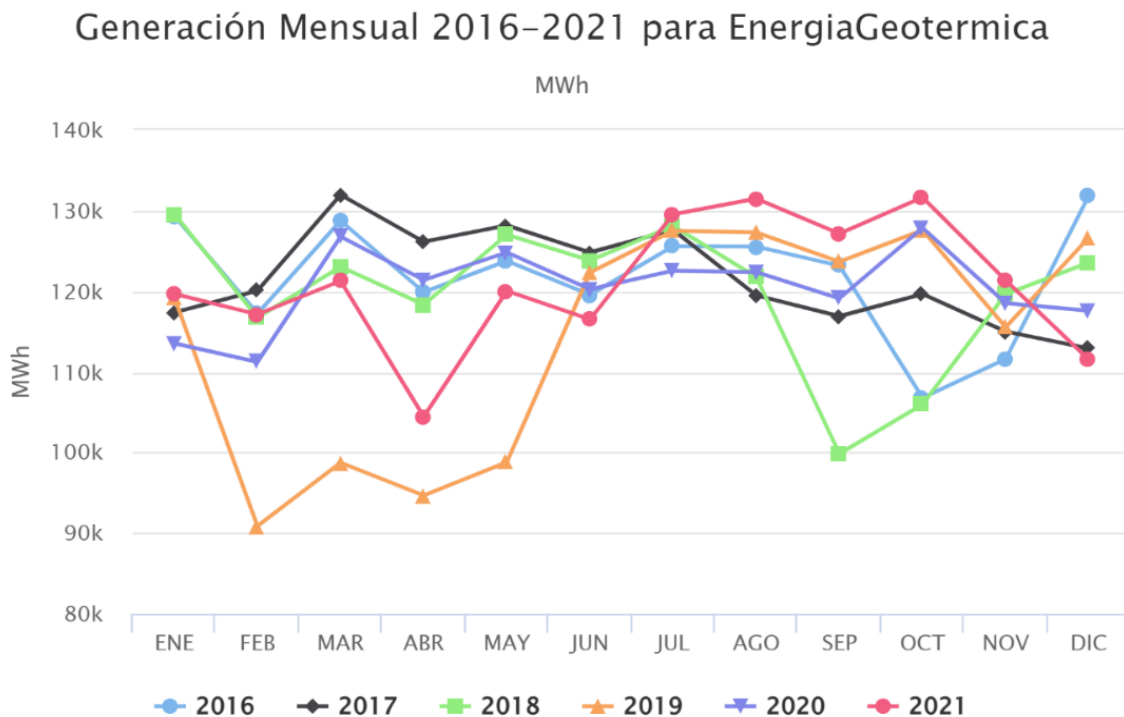


Figura 3: Generación Mensual de energía geotérmica (2016-2021).

## 1.4. RECURSOS GEOTERMICOS DE EL SALVADOR

### Usos directos de la energía geotérmica.

El uso directo del calor es uno de los usos comunes más antiguos de la energía geotérmica en aplicaciones de balnearios, residenciales, agrícolas, acuícolas e industriales. A nivel mundial, el uso directo de la energía geotérmica se puede dividir en dos sectores claros: el sector industrial y el sector residencial y de servicios.



- **Procesos Industriales:** El vapor, el calor o el agua caliente de fuentes geotérmicas se pueden utilizar en aplicaciones industriales donde las instalaciones son grandes y consumen mucha energía.
- **Sector residencial y servicios:** Mediante el uso de sistemas geotérmicos residenciales y terciarios de baja entalpía, es posible entregar diésel, gas natural o GLP (propano y butano), todos ellos fuentes de energía costosas e imposibles de regenerar.

### Usos indirectos de la energía geotérmica

Generación de energía: De acuerdo con las características de los recursos geotérmicos, los depósitos geotérmicos de alta temperatura pueden ser utilizados para generar energía, por lo que la generación de energía se realiza mediante turbinas de vapor tradicionales (ciclo Rankine) y centrales eléctricas de ciclo binario.

### Utilización en cascada

Como se mencionó, el uso de los recursos geotérmicos depende del nivel de calor del fluido. Por lo general, usan energía que está disponible después del consumo, a menudo después de un proceso geotérmico industrial, beneficiándose de los diferentes niveles de calor necesarios para diferentes aplicaciones. Esta operación se llama operación en cascada. De esta manera, después de generar electricidad, el líquido aún caliente se puede utilizar para calentar la casa. Después del segundo uso, el líquido se puede utilizar para otras aplicaciones con requisitos de temperatura más bajos, calefacción de invernaderos, etc.

La siguiente tabla indica los tipos de energía geotérmica según la temperatura del material (La Geo, S.A DE C.V, 2010).

Tipo	Temperatura	Uso
Alta temperatura	$T > 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Generación de electricidad





<b>Media temperatura</b>	100 °C < T < 150 °C	Generación de electricidad y utilización térmica industrial
<b>Baja temperatura</b>	30 °C < T < 100 °C	Aprovechamiento térmico en industrias, en calefacción y ACS.
<b>Muy baja temperatura</b>	30 °C < T	Calefacción, refrigeración y ACS (Mediante bomba de calor)

*Tabla 2: Tipos de energía geotérmica según la temperatura del material.*

La Geo ha llevado a cabo diversos estudios a lo largo de los años en todo el territorio nacional para poder sacar el máximo provecho a los recursos geotérmicos en el país, analizando diversos puntos calientes. Desde el 2008 la Geo ha llevado un inventario de estas áreas o puntos de interés realizando diversas visitas en donde se presentan manifestaciones hidrotermales en la superficie y distribuidas a lo largo del territorio nacional (La Geo, S.A DE C.V, 2010).

Con base en análisis químicos y mediciones de temperatura de fuentes termales, chimeneas y pozos de calor, las áreas geotérmicas del país se pueden dividir en tres categorías de recursos geotérmicos:

- **Categoría A:** Incluye sistemas por encima de 150 °C enfocados a la generación de electricidad mediante condensador y/o instalación binaria.
- **Categoría B:** Corresponde a un sistema geotérmico con temperaturas entre 90 y 150 °C, cuyo calor ofrece un potencial que aún puede ser aprovechado mediante instalación binaria o directa (secado, enfriamiento, etc.)
- **Categoría C:** El sistema tiene una temperatura de 40 a 80 °C, no para uso industrial, sino para fines de entretenimiento y turismo.



Un total de 21 áreas hidrotermales existen a lo larga del territorio salvadoreño según el plan de visitas que tomo como base de información generada por UNDP en los años 60 y CEL en 1987, incluyendo algunos documentos históricos elaborados por el Dr. Meyer Abich, Historiador Larde y Larín entre otros. Con los diferentes tipos de estudio antes mencionado se identifica y además se confirma la existencia de las áreas hidrotermales en territorio salvadoreño en la cual todavía se mantiene activas, en la tabla 1, se identifica se presenta el listado de las áreas de sistemas de agua caliente identificado por las Naciones Unidas en los años 60, los estudiados por al CEL en el año 1987 y los reconocidos y confirmados por La Geo en el periodo 2008-2010 (La Geo, S.A DE C.V, 2010). Cabe destacar que de acuerdo con los estudios geocientíficos desarrollados indican que forman parte de un solo sistema.



INVENTARIO DE SISTEMAS HIDROTERMALES DE EL SALVADOR 2010								
Ubicación	Sitio	UNDP 1960	CEL 1987	La Geo 2010				Observacion
				Manifestación Activa		Se considera en Inventario 2010		
				SI	NO	SI	NO	
Ahuchapán	Durazneño	x		x		x		
Ahuchapán	Los Toles	x	x	x		x		
Ahuchapán	Los Salitres	x		x		x		
Ahuchapán	Chipilapa		x	x			x	
Ahuchapán	San Lorenzo	x	x	x		x	No se considera en inventario, actualmente es zona de reinyección de Central Geotérmica de Ahuchapán	
Ahuchapán	Playón - El Saitre	x	x	x			x	
Ahuchapán	La Ceiba	x		x			x	
Sonsonate	Caluco	x	x	x		x		
Santa Ana	Guija		x	x		x		
Santa Ana	Los Apoyos		x		x		x	
Santa Ana	Coatepeque	x	x	x		x		
Santa Ana	Agua Caliente	x		x			x	
San Vicente	San Vicente	x	x	x			x	
San Vicente	Obrajuelo - Lempa	x	x	x		x		
San Vicente	Parras Lempa	x		x			x	
La Paz	El Saitre		x		x		x	
Usulután	Berlín		x	x			x	
Usulután	San Simón	x		x			x	
Usulután	Las Burras	x		x			x	
Usulután	Jucuapa	x			x		x	
San Miguel	Chinameca		x	x			x	
San Miguel	Chambala		x	x			x	
San Miguel	Chilanguera	x	x	x		x		
San Miguel	Olomega		x	x			x	
La Unión	Conchagua	x	x	x		x		
Santa Ana	Metapán	x		x		x		
Santa Ana	Texistepeque	x		x		x		
Chalatenango	Agua Caliente	x	x	x		x		
Chalatenango	El Paraíso		x	x		x		
Chalatenango	Obrajuelo	x		x		x		
Chalatenango	El Saitre	x		x		x		
Chalatenango	Nombre de Jesús	x	x	x		x		
La Libertad	Tihuapa		x		x		x	
San Miguel	Carolina	x	x	x		x		
Morazán	San Isidro	x			x		x	
La Unión	Santa Rosa	x	x	x		x		
La Unión		x	x	x		x		
La Unión				x				
La Libertad	Agua Caliente	x				x		
Total de áreas identificadas		28	24	32				
Áreas consideradas en Inventario 2010						21		

Tabla 3: Inventario de sistemas hidrotermales de El Salvador, actualizado a junio 2010.



Como se puede observar en la tabla anterior, solo las regiones de Chilanguera, Conchagua, Coatepeque y Obrajuelo-Lempa son sistemas hidrotermales con temperaturas estimadas en los tanques superiores a 150 °C. En estas regiones, La Geo realizó el estudio de geociencias (geoquímica, geología, y geofísica) y, a diferencia de las áreas de baja temperatura, solo se recopila información geoquímica y geológica para evaluar los posibles parámetros del yacimiento.

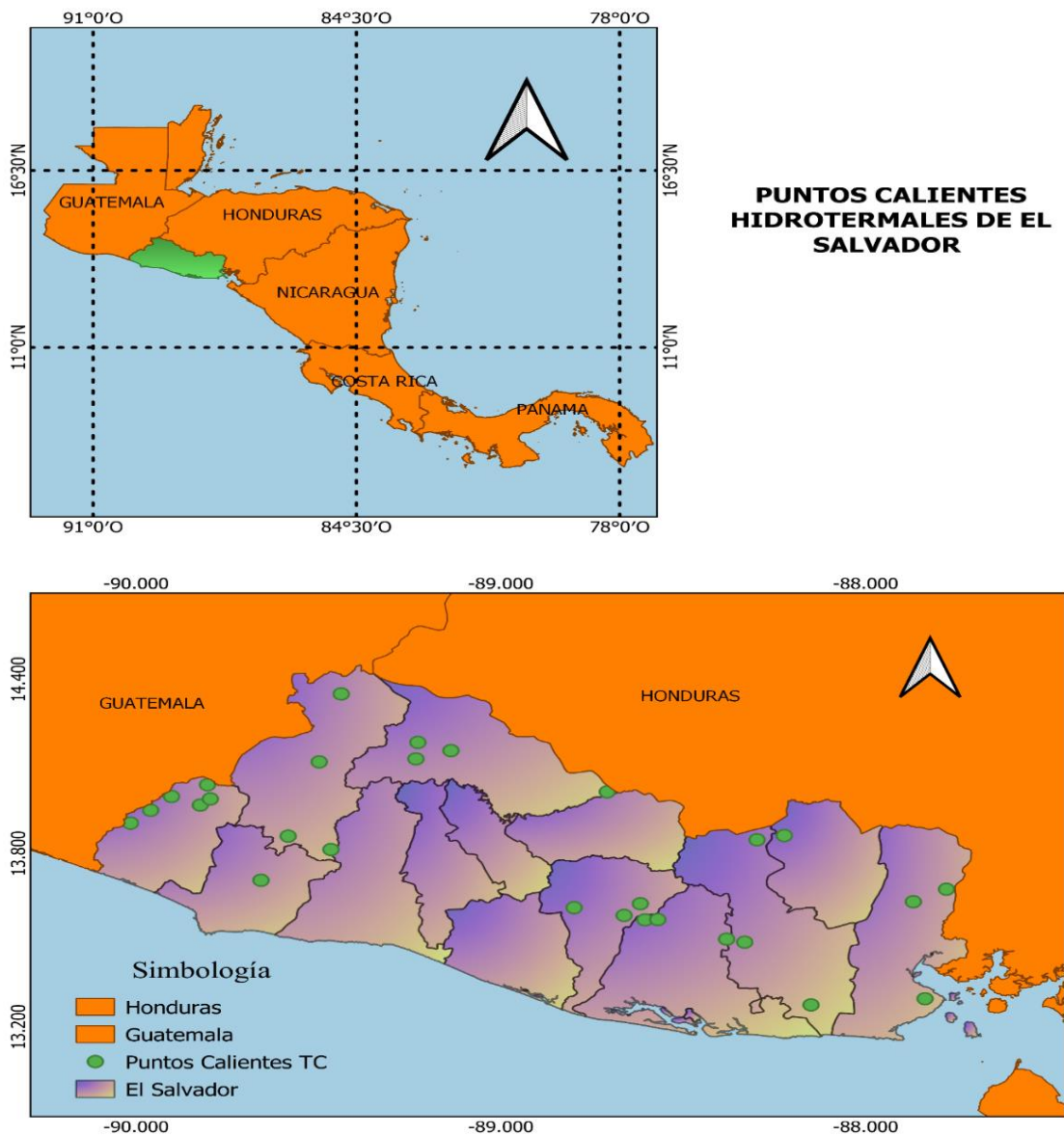


Figura 4: Ubicación de puntos calientes hidrotermales según inventario de sistemas hidrotermales de El Salvador.

## CAPITULO II

### 2.1. ESTIMACION DEL RECURSO GEOTERMICO

Ante la llegada de la pandemia del COVID-19 y sus variantes en algunos países incluyendo El Salvador, este ha afectado en gran medida muchos factores que ayudan en el desarrollo de un país, uno de estos factores es la economía debido a que los precios de la canasta y servicios básicos como la energía eléctrica han sido incrementados notablemente, por tanto, estamos obligados a buscar soluciones para la nueva realidad y así reducir el golpe que ha dejado la pandemia, una solución es la implementación de sistemas de energías renovables como la energía fotovoltaica, biomasa y biogás, eólica, mareomotriz u undimotriz, hidráulica y energía geotérmica.

Actualmente se tiene una matriz energética muy desbalanceada donde el mayor porcentaje de generación eléctrica son por combustibles como el petróleo, uranio, gas natural y carbón (energías no renovables) que dañan en gran medida al medio ambiente y así mismo reducen los recursos que podrían utilizarse de otra manera, se tiene previsto usar el uso de energías no renovables en algunos años más hasta que las energías renovables tomen el mayor porcentaje de generación eléctrica, para lograr esto el mundo debe apostar hacia las energías renovables y así disminuir la descarbonización que ocasiona el daño de la capa de ozono, la formación del efecto invernadero y el cambio climático.

En el capítulo anterior, se menciona que El Salvador a pesar que es un país muy pequeño esta favorecido por muchos volcanes que están conectados bajo el cinturón de fuego del pacifico donde se podría implementar plantas geotérmicas para ayudar a satisfacer las necesidades energéticas del país y así exportar a la matriz energética internacional, por tanto, se tienen actualmente 28 puntos calientes estudiados del cual



solo 21 son favorables, dichos puntos han sido estudiados por muchos años y algunos con ayuda de softwares de paga con una licencia que ronda por los miles a millones de dólares, en el presente año 2022 muchos países han desarrollado muchos softwares libres con funciones especiales de paga para ayudar a la comunidad que estudia la geotermia a gran escala, entre ellos están COMSOL, 3DHIP-Calculator, Crystall Ball entre otros. Por lo tanto, también existe una librería en el lenguaje de programación Python llamado GPPEVAL que calcula la estimación del potencial geotérmico, del cual estaremos mencionando más adelante en este capítulo.

Pero ¿Por qué es necesario realizar una estimación del potencial geotérmico? ¿cómo se estima el potencial del recurso geotérmico de un punto caliente?, para contestar estas las interrogantes debemos trasladarnos al año de 1978 bajo los estudios de la United States Geological Survey “USGS” (Unidad de Servicio Geológico de los Estados Unidos) donde fue expuesto el documento “METHODS FOR REGIONAL ASSESSMENT OF GEOTHERMAL RESOURCES” basado en la investigación de (Muffler, 1978), el documento hace referencia en los métodos de estimación del potencial energético que se han utilizado a través de los años teniendo en cuenta la valoración de los recursos o evaluación de los recursos debido a que la sociedad moderna desde hace muchos años hasta el día de hoy dependemos aun de los minerales y combustibles fósiles (petróleo, gas natural, carbón, etc.) para la generación de energía eléctrica.

En los últimos años se ha visto la necesidad de implementar plantas geotérmicas, pero hay pocos documentos escritos donde han intentado estimar los recursos geotérmicos en zonas amplias utilizando metodologías, consideraciones y terminologías muy diferentes, por lo que es casi imposible comparar una estimación con otra, las nuevas generaciones tienen la misión de actualizar estas técnicas de estimación con nuevas tecnologías y actualización de datos (pozos perforados).



## 2.2. TERMINOLOGÍA GEOTÉRMICA.

La definición de algunos conceptos usados para la evaluación de los recursos geotérmicos nos planteamos lo siguiente, según (Muffler, 1978) propone una subdivisión lógica y secuencial de la base de recursos geotérmicos como se puede observar en la siguiente figura con sus respectivas:

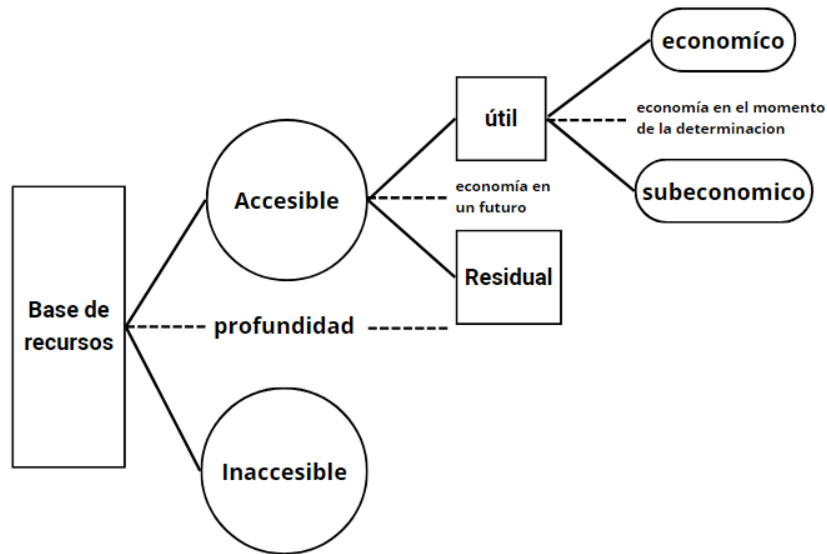


Figura 5: Diagrama de subdivisión lógica de la base de los recursos geotérmicos.

Cada bloque de la figura 5, tiene la siguiente definición:

- **Base de recursos geotérmicos:** es el calor de la corteza terrestre medido a partir de la temperatura promedio anual del área en estudio.

- **Base de recursos accesibles:** está localizada a una profundidad alcanzable para ser explotada mediante perforaciones de producción, estas pueden dividirse en componentes útiles y residuales.

- **El recurso geotérmico:** es el calor útil que podrá extraerse moderadamente con costos competitivos y pueden ser transformadas como otras formas de energía en un futuro determinado, estos pueden dividirse en función de condiciones existentes al momento de evaluación como componentes económicos y subeconómicos

- **La reserva:** es el recurso económico identificado.

Las definiciones se pueden representar mejor en un Diagrama de McKelvey (McKelvey, 1972), lo cual, define en el eje vertical el grado de viabilidad económica y en el eje horizontal el grado de seguridad geológica que contiene los componentes identificados y no descubiertos. Además, Todas las categorías deben expresarse en unidades de calor, las cifras de recursos y reservas se calculan en boca de pozo, teniendo en cuenta las grandes pérdidas inevitables inherentes a cualquier uso térmico práctico o a la conversión en electricidad.

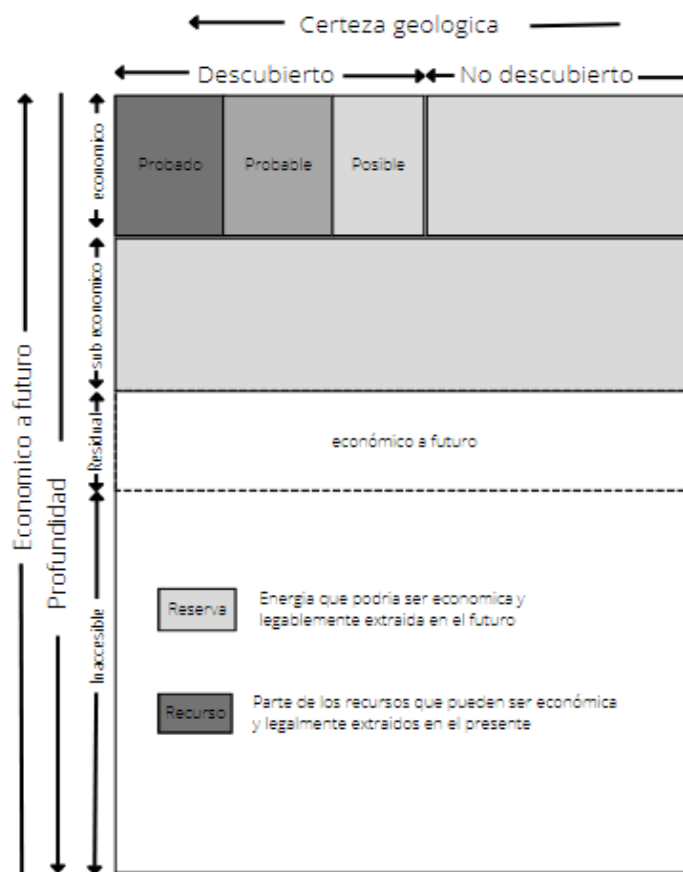


Figura 6: Diagrama de McKelvey que representa la división lógica de la base de recurso geotérmico según el grado de viabilidad económica (eje vertical) y el grado de seguridad geológica (eje horizontal).



En la figura 6, (Muffler, 1978) agrega las siguientes clasificaciones:

- **Reservas probadas:** zona que ha sido estudiada y realizado las pruebas de pozos obteniendo una recomendación de la instalación de una planta geotérmica de la capacidad calculada con una vida útil máximo de 30 años.
- **Reservas probables:** zonas estudiadas en las áreas de la geofísica, geológicas y geoquímica, para definir la probable extensión y temperatura de la zona geotérmica.
- **Reservas posibles:** zona con manifestaciones termales en la superficie y por estudios geológico permitan la producción de un recurso geotérmico.

Los términos de reservas mínimas, reservas promedio y reservas máximas, estas se definen según la cantidad y calidad de la información geo científica disponible obtenidos por los estudios según las etapas de la exploración de superficie y dichos términos solo se utilizan cuando no exista ningún pozo geotérmico perforado ya sea por gradiente o exploratorios profundos.

### 2.3. FACTORES PARA LA ESTIMACIÓN DE RECURSO GEOTÉRMICO.

Antes de explorar un yacimiento geotérmico se debe realizar una evaluación tomando en cuenta las condiciones económicas, esto nos lleva a la evaluación de los recursos geotérmicos que dependen de una serie de factores que pueden agruparse como:

- **Factores geológicos y físicos:** La distribución de temperatura, calor específico de la roca, porosidad total y efectiva, la permeabilidad, el patrón de circulación del fluido, la fase del fluido (vapor o agua), la profundidad del yacimiento, etc.
- **Factores tecnológicos:** Tecnología de perforación, la extracción de calor terrestre mediante fluidos naturales o bucle termo hidráulicos, factores de conversión de energía térmica en energía eléctrica, factores de planta y utilización, posible uso polivalente del fluido extraído, eliminación de gases o aguas residuales, etc.



- **Factores económicos:** el valor de la energía geotérmica (producción de electricidad o como calor), los costos de los diferentes elementos de la planta de utilización, la conveniencia económica de los proyectos polivalentes, costos de la fuente de energía sustitutiva, costos a capital, etc.

- **Factores generales:** Normativas legales, oportunidad de desarrollar otras fuentes locales, política energética nacional, limitaciones sociales, limitaciones ecológicas, etc.

Es importante mencionar que la energía geotérmica es muy “dinámica” en el tiempo como en la zona, es decir, las variaciones de temperatura con el tiempo y la existencia de soluciones salinas e hipersalinas complejas, las variaciones del estado de los fluidos, la presencia de gases incondensables, la permeabilidad cambiante debido a las formaciones por precipitación y la disolución, por último, la posibilidad de reabastecimiento de calor desde el exterior en un determinado yacimiento.

## 2.4. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS.

Existen 4 métodos utilizado a través de los años para la estimación de un recurso geotérmico (Muffler, 1978), los cuales se mencionan a continuación:

1. Flujo térmico superficial (Surface thermal flux).
2. Volumen (Volume).
3. Fractura planar (Planar Fracture).
4. Balance geotérmico magmático (Magmatic heat budget).

### 2.4.1. FLUJO TÉRMICO SUPERFICIAL (SURFACE THERMAL FLUX)

Este es el más sencillo y se ha aplicado principalmente en zonas de abundantes manifestaciones térmicas como por ejemplo en Wairakei en Nueva Zelanda (Banwell, 1963). Este método se basa en un cálculo de la energía térmica en una unidad de tiempo



determinado, la cual se transfiere del suelo a la atmosfera, también en las aguas superficiales mediante el flujo de calor por conducción y los efluentes térmicos de manantiales, fumarolas, etc. El valor calculado en si se denomina Potencia térmica natural (P) de la zona considerada, se expresa por las siguientes ecuaciones:

$$P = P_1 + P_2 \quad ec (1)$$

$$P_1 = A \times q \quad ec (2)$$

$$P_2 = Q \times C_w \times (T_w - T_o) \quad ec (3)$$

Donde:

$P_1$  = es la presión del calor conductivo.

$P_2$  = es la presión del calor contenido en el efluente del fluido.

$q$  = es el flujo de calor conductivo.

$C_w$  = es la capacidad calorífica.

$T_w$  = temperatura del efluente.

$T_o$  = temperatura del ambiente.

Después de conocer la potencia térmica natural se procede a calcular la energía total (H) que esta almacenada en el subsuelo, se supone que toda esta energía se disipa en la superficie sin reabastecimiento contemporáneo de las regiones subcrustales en un tiempo geológico fijo que va como ejemplo alrededor de  $t=10^4, 10^5...$  etc. Años. Su expresión es:

$$H = P \times t = (P_1 + P_2) \times t \quad ec (4)$$



Es posible estimar la fracción recuperable utilizando el concepto de recuperabilidad como en el método volumétrico, como alternativa de la duración de la descarga hidrotermal natural, se puede aplicar la técnica de la analogía con otras zonas. Según (White D. E., 1965) afirma que “la experiencia en algunas localidades indica que el calor puede ser retirado a tasas de 4 o más de 10 veces el flujo de calor natural durante al menos 10 años sin efectos graves” así mismo (Baba, 1975) afirmo que las zonas geotérmicas pueden explotarse de 10 a más de 100 veces la producción de calor natural.

En resumen, este método puede dar el potencial mínimo de un área geotérmica, pero el verdadero potencial geotérmico siempre será sustancialmente más alto, particularmente para áreas de baja descarga natural. Adema, este verdadero potencial no puede ser determinado cuantitativamente por el método del flujo térmico superficial.

#### 2.4.2. VOLUMEN (VOLUME)

Es el más conocido y el más utilizado para la estimación de recursos geotérmicos también es conocido como: método del calor volumétrico (White D. E., 1975) o método del calor almacenado (Bolton, 1973), este se basa en el cálculo de la energía almacenada en un determinado volumen de roca.

Primeramente, se calcula el calor en el área específica hasta una profundidad determinada en base a una temperatura media anual (base de recursos accesibles). se suele abordar el cálculo dividiendo la corteza terrestre superior en la zona determinada en una serie de intervalos de profundidad estas suelen corresponder a unidades geohidrológicas y estimando después la temperatura media anual de cada volumen.

Existen 2 maneras para realizar el cálculo, la primera es estimar el calor específico volumétrico  $C_{vi}$  y luego calcular el calor total contenido en la roca y el agua mediante la siguiente formula:

$$H = C_{vi} \times V_i \times (T_i - T_o) \quad ec (5)$$



Donde:

El subíndice “i” se refiere al volumen de la roca y agua considerado.

La segunda forma es establecer una porosidad total  $\emptyset_t$  y luego se calcula el calor contenido en las fases solidad ( $H_{ir}$ ) y el calor en los fluidos de los poros ( $H_{iw}$ ), tal que:

$$H_i = H_{ir} + H_{iw} = (1 - \emptyset_{ti} \times C_{ri} \times \rho_{ri} \times V_i \times (T_i - T_o) + \emptyset_{ti} \times C_w \times \rho_w \times V_i \times (T_i - T_o))$$

ec (6)

Donde:

$C_{ri}$  = es el calor especifico (masa) de la roca

$C_w$  = es el calor especifico (masa) del agua

$\rho_{ri}$  = es la densidad de la roca

$\rho_w$  = es la densidad del agua

Ambas maneras para calcular la estimación del potencial geotérmico sus resultados no difieren de un 5% siempre que la porosidad total sea inferior del 20% y el fluido de los poros sea agua líquida y no vapor o gas. Cabe mencionar que la segunda manera sirve concluir que el 90% del calor esta almacenado en la roca y el 10% en el agua en un yacimiento.

Este método utiliza el concepto de elementos finos para evaluar los recursos geotérmicos, es decir, se subdivide la región examinada en muchas zonas diferentes (el numero vendrá determinado por las condiciones geológicas) y en la vertical en complejos geológicos más o menos homogéneos, la cual cada uno tiene litología, temperatura media, porosidad y espesor diferente. Con esto se evalúa la base del recurso accesible



con el detalle adecuado con el conocimiento de las condiciones del subsuelo hasta la profundidad considerada.

Es importante mencionar que a veces encuentran zonas en donde la información térmica y geológica del subsuelo es inadecuada, por lo tanto, con análisis químicos de las manifestaciones térmicas de la superficie se pueden estimar la temperatura mínima del subsuelo. Es decir, utilizando geotermómetros químicos (Truesdell. A. H., 1976), los geotermómetros de  $\text{SiO}_2$  y Na-K-Ca fueron utilizados por (Renner, 1975) para estimar las temperaturas de depósitos de los sistemas de convección hidrotermal en los EE. UU, su enfoque era una estimación de un tope y un fondo de yacimiento, consideraba que las aguas se equilibraban por última vez en el yacimiento y por tanto, reflejaba la temperatura del yacimiento, consideraba solo los yacimientos de más de  $90^\circ\text{C}$  y despreciaba el calor en las rocas que recubren el yacimiento.

Cabe mencionar que solo una pequeña fracción de la base de recursos accesibles puede ser llevada a la superficie y construir el recurso geotérmico ( $H_r$ ), para ello se debe conocer la porosidad efectiva de las formaciones geológicas que constituyen un determinado volumen del subsuelo. Por tanto, se debe asumir un modelo particular que considere el calor que es llevado a la superficie mediante transporte en agua, vapor o una mezcla de ambos. Los modelos que han considerado para el transporte del calor a la superficie son reducibles a los dos tipos principales que son:

- Vaporización intergranular (ebullición del lugar)
- Flujo intergranular de agua (proceso de barrido): Este último modelo produce agua o una mezcla de vapor y agua en la superficie depende de la temperatura del yacimiento y de las condiciones del pozo perforado.

La cantidad de calor extraíble de un determinado volumen de roca ya agua ( $V_i$ ) dependerá de una serie de factores geológicos y físicos y puede expresarse mediante una relación general del tipo:

$$H_r = f(H_i, M_p, \emptyset_e, T_i, P_i, T_{wh}, P_{wh}, \text{etc}) \quad \text{ec (7)}$$



Donde:

$M_p$  es una función del modelo de producción adaptado.

$T_{wh}$ ,  $P_{wh}$  equivalen a la temperatura y presión de la boca del pozo.

Para esta evaluación sofisticada se necesita el conocimiento de muchos parámetros y es necesario un cálculo de ingeniería en yacimientos no aplicable a una evaluación del calor extraíble en áreas nuevas sin datos extensos de producción. Por tanto, los autores han recurrido al llamado del “Factor de recuperación” ( $R_g$ ) que permite expresar el calor recuperable como un porcentaje del calor almacenado en un determinado volumen del subsuelo ( $V_i$ ) de forma que:

$$H_R = (R_g)(H_i) \quad ec \ (8)$$

$R_g$  oscila entre el 0 hasta el 100% y depende del mecanismo de producción hipotético, la porosidad efectiva de las formaciones que constituyen el volumen  $V_1$  y de la diferencia de temperatura entre el volumen  $V_1$  y la boca del pozo. Por tanto, el factor de recuperación para los sistemas de convección hidrotérmica, su valor puede oscilar hasta un 25% para los yacimientos de agua caliente.

Los siguientes autores han optado por este método del volumen, entre ellos se destaca a (Banwell, 1963) para Wairakei y Broadlands, (Cataldi, 1974) para el yacimiento de Ahuachapán en El Salvador, (White D. E., 1975) para los sistemas de convección hidrotermal en EE.UU. entre otros. El método ha obtenido mucha influencia tal que se han adoptado en forma esquemática en numerosos estudios para la estimación del potencial geotérmico a escala continental o planetaria.

En resumen, este método se utiliza para estimaciones de temperatura, el volumen, el calor específico y la densidad del subsuelo para calcular la base de recursos accesible, multiplicando el valor resultante por un factor de recuperación para obtener el calor



recuperable. Además, este método se presta mejor a la evaluación de sistemas de convección hidrotermal, por contrario hay una debilidad importante y es en cuanto a la estimación del factor de recuperación, la otra debilidad es que considera únicamente el estatus subterráneo sin tener en cuenta el reabastecimiento de calor ciertamente proveniente. El resultado de varios enfoques indica que el reabastecimiento de calor durante algunas decenas de años de explotación es poco probable que exceda el 10 al 20% del calor extraído solo del almacenamiento, es importante mencionar que ninguno de los puntos débiles son fatales y puede ser modificados ante las nuevas generaciones, por tanto la mayoría de autores se inclinan por este método ya que ofrece la descripción más completa y fiable de la base de recursos accesibles, además promete un rápido desarrollo de técnicas mejoradas para la recuperabilidad y el reabastecimiento.

### 2.4.3. FRACTURA PLANAR (PLANAR FRACTURE)

El método fue desarrollado por (Bodvarsson., 1951) principalmente para el uso en basaltos planos de finales del Cenozoico de Islandia. El método también se conoce como “método de la fractura única” con detalles a base de computación adicionales que se encuentra en (Bodvarsson G. , 1972).

El modelo utilizado en el método de la fractura planar consiste en una fractura plana en una roca por lo demás impermeable. El calor se transfiere por conducción a lo largo de la fractura del medio del agua que fluye. “ $T_o$ ” es la temperatura inicial de la roca y “ $T_r$ ” es la temperatura del agua de recarga que entra en la fractura, la temperatura del agua de salida disminuirá desde “ $T_o$ ” al comienzo de la extracción del fluido hasta una temperatura mínima “ $T_m$ ” después de un periodo de producción “ $t_o$ ”. Utilizando la teoría clásica de transferencia por conducción de calor, (Bodvarsson, 1974), calcula el calor teóricamente extraíble por unidad de superficie de fractura, en función de  $T$  y de la “relación de temperatura final”.





$$r = \frac{T_m - T_r}{T_o - T_r} \quad \text{ec (9)}$$

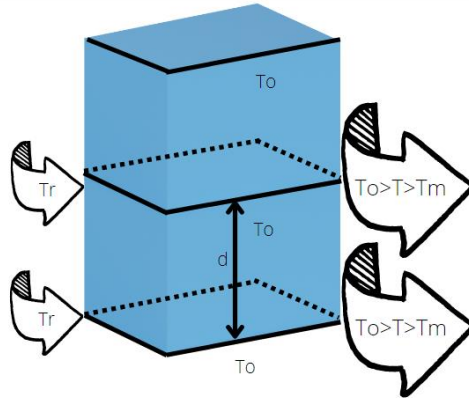


Figura 7: Diagrama esquemático del modelo de fractura planar,  $T_o$  temperatura inicial de la roca,  $T_r$  temperatura del fluido de recarga,  $T_m$  temperatura mínima de salida tras el tiempo de producción,  $d$  = distancia mínima entre fracturas para que la interacción térmica entre ellas sea despreciable.

El modelo de fractura planar puede extenderse a fracturas múltiples (ver Fig. 1), siempre que la distancia  $d$  entre las fracturas sea lo suficientemente grande como para despreciar la interacción térmica. Según la modificación de Nathenson la interacción entre fracturas paralelas será despreciable cuando:

$$\frac{d}{2} = 3\sqrt{a x t_o} \quad \text{ec (10)}$$

Donde:

$a$  = es la difusividad térmica

El método de la fractura planar y sus variantes de fractura múltiple puede aplicarse fácilmente en secuencia de flujos basálticos de suave inclinación donde la geometría de la fractura del subsuelo es simple y predecible con confianza. La aplicación de terrenos volcánicos más complejos (por ejemplo, Ahuachapán, El Salvador, (Bodvarsson, 1974), p. 83, es teóricamente posible, pero en casos el espaciado y la orientación de las

fracturas asumimos se vuelven progresivamente menos seguros y los resultados del método cada vez más subjetivos.

En resumen, el método de fractura planar que puede ser muy útil para calcular el calor extraíble de las zonas geotérmicas en terrenos basálticos de inundación, pero no es aplicable de forma fiable a grandes regiones o a las situaciones geológicas más comunes caracterizadas por el plegamiento y fallas

#### 2.4.4. BALANCE GEOTÉRMICO MAGMÁTICO (MAGMATIC HEAT BUDGET):

Son muchos métodos que se basan en las zonas volcánicas, el magma se suministra de forma intermitente a la corteza. Gran parte de este magma atraviesa la corteza superior y sale a la superficie en formas de rocas volcánicas. Sin embargo, solo una parte del magma se aloja en la corteza superior en forma de intrusiones ígneas. Que actúan como fuentes de calor para los sistemas geotérmicos suprayacentes o son así mismas objetivos de exploración y desarrollo. Una estimación del número, tamaño, posición y edad de las intrusiones ígneas jóvenes, combinada con un análisis de la historia del enfriamiento, proporciona un medio para estimar el potencial geotérmico de una región o incluso de una zona específica y restringida.

Por su propia naturaleza, el método no proporciona una categorización precisa de los recursos, si no que ofrece una amplia visión de la base de recursos accesibles, intrínsecamente este método ofrece poca información cuantitativa sobre la fracción de esta base de recursos que podría ser recuperable.

En resumen, este método combina el cálculo del calor en una cámara magmática en el momento del emplazamiento con una estimación del calor perdido en la superficie desde ese momento, dando así una estimación indirecta del calor que todavía en la intrusión y la roca del país, además el método es limitado ya que cualquier anomalía ígnea de la corteza puede dar lugar a tres tipos de sistemas geotérmicos (es decir, magma, roca seca caliente y convección hidrotermal).



## 2.4.5. CONCLUSIÓN DE LOS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS.

Entre los métodos anteriores, el que más resalta es el método volumétrico parecer ser el más útil porque es aplicable en cualquier entorno geológico, además los parámetros necesarios pueden medirse o estimarse, sus errores pueden ser compensados, las principales incertidumbres como la recuperabilidad y reabastecimiento son susceptible de resolverse en un futuro previsible.

La debilidad principal de todos los métodos es la estimación de la cantidad de recursos accesibles que pueden extraerse en algún momento futuro, además el factor de recuperación para un sistema de agua caliente idealmente permeable puede llegar hasta el 50% y pueda ser independiente de la temperatura, esta disminuye a medida que decrece la porosidad efectiva  $\emptyset_e$  pero la relación entre ambos es más que un supuesto.

Los sistemas de vapor por un mecanismo de vaporización intergranular, el factor de recuperación se sitúa previamente en un entorno del 15% al 20% disminuyendo a cero la porosidad efectiva  $\emptyset_e$ . según (Bodvarsson, 1974) el factor de recuperación aumenta con la disminución de la temperatura del yacimiento y Nathernoon (1975) dice que está limitado a bajas temperaturas por requerimiento de tener una presión suficiente en el yacimiento para su extracción y utilización.

Según (Bodvarsson, 1974) el factor de recuperación aumenta con la disminución de la temperatura del yacimiento y como señala (Nathenson, 1975) está limitado a bajas temperaturas por la necesidad de tener una presión suficiente en el yacimiento para su extracción y utilización. A medida que un yacimiento geotérmico puede reabastecer el calor durante tiempos industriales va de 10, 100 a 100 años y puede evaluarse mediante modelos analíticos. Un yacimiento geotérmico en medida puede reabastecer de calor durante tiempos “industriales” va de 10 a 100 años y puede evaluarse mediante sencillos modelos analíticos.



## 2.5. RECUPERABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE CONVECCIÓN HIDROTHERMAL

Es importante distinguir cuidadosamente entre la cantidad total de un depósito mineral dado que se encuentra bajo tierra antes de la extracción y la porción de la mina que puede ser económica y tecnológicamente predecible. Esta distinción suele expresarse por la recuperabilidad, siendo la parte recuperable el depósito total multiplicado por el factor de recuperación.

Ampliar el término "factor de recuperación" para incluir un recurso geotérmico ha llevado a la definición del factor de recuperación geotérmica como "la relación entre el calor ganado (medido en la boca del pozo) y el calor inicial total presente en volúmenes dados de roca y agua subterránea" Definición de que la restauración debe tener lugar durante un período industrial (entre 10 y 100 años) y no durante un período geológico ( $>10^3$  años).

En algunos sistemas de convección hidrotermal, la recuperación geotérmica puede llegar al 25 % en condiciones naturales de porosidad y permeabilidad, pero en la mayoría de los sistemas naturales es mucho menor, en rocas no fracturadas e impermeables cercanas a cero. En la mayoría de los casos, la recuperación geotérmica no se comprende bien y, a menudo, solo se puede estimar subjetivamente.

Depende de muchos elementos, los más importantes parecen ser:

- 1) El tipo de sistema geotérmico (convección hidrotermal, geopresionado, dominado por la conducción, magma).
- 2) La porosidad.
- 3) La naturaleza del fluido en los poros.
- 4) La temperatura del yacimiento.



5) La tecnología de extracción tecnología.

En nuestro estado actual de comprensión de los sistemas de convección hidrotermal, parece que los factores de recuperación pueden resumirse como sigue:

**Sistemas que producen agua:** El factor de recuperación ( $R_g$ ) teóricamente puede llegar al 50 % para un tanque de permeación ideal donde  $\phi_t = \phi_e = \sim 20\%$  y, como aproximación inicial, parece disminuir linealmente con la disminución de  $\phi_e$  hasta llegar a cero en  $\phi_e = 0$ . En un caso real,  $R_g$  probablemente no supere el 25 %.

**Sistemas productores de vapor:** El factor de recuperación ( $R_g$ ) puede superar el 15% para un campo adecuado como Larderello-Travale. Al principio parece decrecer linealmente con  $\phi_e$  disminuyendo hasta que llega a cero en  $\phi_e = 0$ , pero aumenta con la disminución de la temperatura hasta que se ve limitado por el límite inferior de presión.

Donde

$\phi_e$  Porosidad efectiva  $\phi_t$  Porosidad total  $R_g$  Factor de recuperación

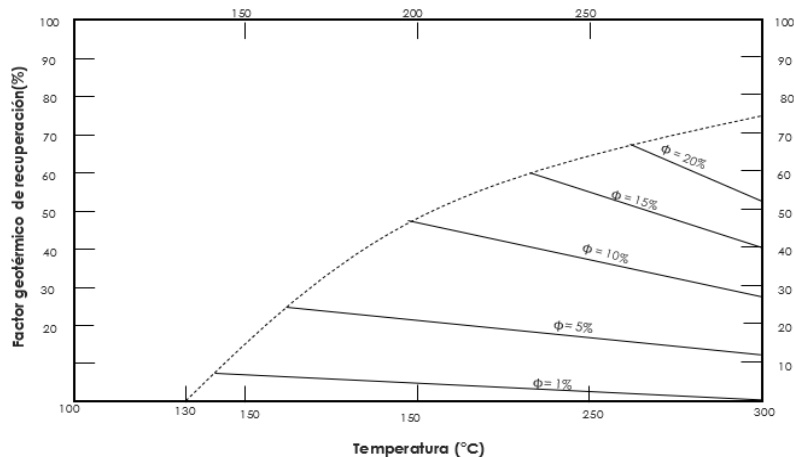


Figura 8: Factor teórico de recuperación geotérmica (calor recuperado dividido por el calor originalmente en el yacimiento) en % respecto a 15°C en función de la temperatura del yacimiento y la porosidad. añadiendo la limitación de presión final de 2,5 bares.



## 2.6. SIMULACION MONTECARLO: ESTIMACION DE RECURSOS GEOTERMICOS

### 2.6.1. SIMULACION DE MONTECARLO

La simulación de Montecarlo es un método matemático que estima los posibles resultados de un evento dudoso, el cual fue creado en la segunda guerra mundial por los matemáticos John Von Neumann y Stanislaw para la mejora de decisiones en situaciones con incertidumbre. Esta simulación también es conocido como método de Montecarlo o simulación de probabilidad múltiple y su nombre proviene de un casino conocido en Mónaco.

La simulación de Montecarlo desde su creación se ha utilizado en muchas áreas de la vida real como, por ejemplo: la inteligencia artificial, los precios de las acciones de un negocio, fijación de precios, la administración de proyectos, entre otros. Además, este método brinda al usuario una serie de ventajas para el modelado predictivo con ingreso fijo como análisis de sensibilidad y correlación de ingresos. Para ver un impacto de los ingresos individuales en un resultado se utiliza el análisis de sensibilidad y la correlación le permite al usuario asimilar la relación de los datos de entrada.

Anteriormente se ha explicado el origen y algunas aplicaciones de uso de este método, pero ¿cómo funciona la simulación de Montecarlo?, debido a que tiene muchas diferencias ante otros modelos de predicciones, la simulación de Montecarlo predice un conjunto de resultados en un rango estimado de valores frente a una agrupación de valores de entrada fijas, es decir, crea escenarios de posibles resultados aprovechando una distribución de probabilidades ya sea uniforme o normal para cualquier variable que tenga incertidumbre, luego se vuelve a calcular los resultados de forma iterativa utilizando una agrupación de números aleatorios entre los valores máximos y mínimos. También el método se utiliza para predicciones de largo tiempo debido a su precisión, es importante mencionar que a medida aumenta el número de entradas, el número de predicciones disminuye en consecuencia permite arrojar lejos los resultados en el tiempo con mucha precisión. Al completarse una simulación en su totalidad este proporcionara



al usuario una serie de eventos posibles con la probabilidad que se produzca cada evento.

Existen 3 pasos principales para aplicar la técnica de Montecarlo que son básicas:

- Establecer el modelo predictivo. *(identificación de la variable dependiente que se precederá y las variables independientes que determinaran la predicción,  $y = f(X_1 \dots X_n)$ )*
- Especificar las distribuciones de probabilidades para las variables independientes. *(Uso de un historial o histograma de datos para definir el rango de valores probables y asignación de porcentajes de probabilidad en cada una)*
- Ejecución de simulaciones iterativamente para la generación de valores aleatorios de las variables independientes. *(repetir hasta la obtención de varios resultados para crear una muestra que represente el número finitos de combinaciones posibles).*

## 2.6.2. APLICACIÓN EN LA ESTIMACION DE RECURSOS GEOTERMICOS.

Anteriormente se había mencionado que la simulación de Montecarlo ha tenido muchas aplicaciones en el día a día por lo que en el área de la geotermia no es la excepción, cuando se estudia una zona en específico donde probablemente haya un yacimiento geotérmico siempre es necesario estimar el recurso para conocer su potencial de energía que este puede brindar a las personas interesadas, así como también conocer su disponibilidad para el trabajo posterior.

Cuando se explora el área de interés en todos sus niveles tanto en la superficie como una perforación profunda, siempre hay una incertidumbre sobre las variables disponibles y la estimación de energía del potencial geotérmico, por tanto, la simulación de Montecarlo (método estocástico) se utiliza mucho para la estimación del recurso geotérmico debido a las primeras etapas de investigación donde todos los datos son pocos y las incertidumbres son grandes.



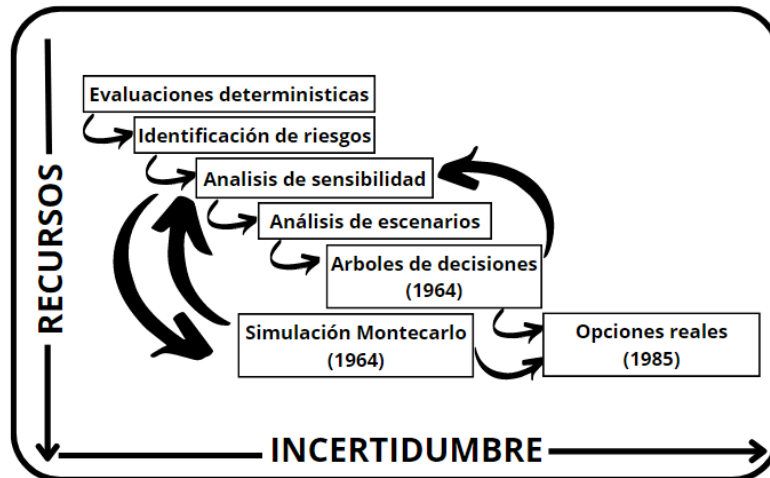


Figura 9. Metodología para el análisis de la incertidumbre.

Los métodos estocásticos, análisis de riesgos para estimar el rango, las distribuciones probables de las reservas de calor almacenadas y la base energética explotable de la región geotérmica, estos métodos se han tomado prestados de las industrias petroleras donde se han utilizado por mucho tiempo para estimar las reservas probabilísticas de hidrocarburos en el sitio, petróleo y gas en las cuencas sedimentarias.

¿Como se estima un recurso geotérmico?, después de estudiar el área donde se obtuvieron los datos generados por la cartografía geológica, geoquímicos, resistividad, infrarrojos, sísmicos, magnetización, gravedad, temperaturas de aguas subterráneas, flujos térmicos y perforaciones exploratorias de la zona. Estos datos son los parámetros de entrada para la simulación y así determinar la distribución, por tanto, dichos parámetros importantes son los siguientes:

- Área de recursos: se obtiene en el estudio de cartografía geológicas y mediciones geofísicas.
- Temperatura del recurso: obtenida por estudios geoquímicos, temperaturas de aguas subterráneas y perforaciones.
- Espesor del yacimiento geotérmico: obtenido por mediciones geofísicas y perforaciones.

Además, los otros parámetros que deben incluirse como la porosidad, densidad de la roca, capacidad calorífica específica del fluido y de la roca. Estos se obtienen con datos



recogidos en pozos perforados o en otros yacimientos de configuración geológica o características similares y estos dichos datos se utilizan en el método volumétrico.

### 2.6.3. MODELO VOLUMÉTRICO PARA ESTIMACIÓN DE LA RESERVA GEOTÉRMICA

Anteriormente se había mencionado sobre este método bajo los estudios de (Muffler, 1978), por tanto, simplificaremos la expresión anterior (ec. 6) por la siguiente:

$$Q = C \times A \times H \times (T_r - T_{ref}) \quad ec. 8$$

Donde:

$Q$  es la energía térmica del reservorio en kJ/kg

$C$  es el calor específico volumétrico de la roca y el agua en kJ/kg\*K

$$C = \rho_r \times C_r \times (1 - \emptyset) + \rho_w \times C_w \times \emptyset$$

$A$  es el área del reservorio en  $m^2$

$H$  es el espesor del reservorio en  $m$

$T$  es la temperatura media del servicio en  $^{\circ}C$

$T_{ref}$  temperatura media anual local (referencia) en  $^{\circ}C$

La ecuación anterior, es modificada debido al siguiente escenario, si el recurso geotérmico tiene una zona bifásica en la parte superior de la zona líquida ¿Qué ocurre?, en teoría, se puede realizar el cálculo de la componente térmica tanto de la zona bifásica o dominada por el vapor y el líquido, sin embargo, algunos estudios de (Sanyal, 2005), menciona que si un reservorio se produjera agua, entonces los fluidos solo contendrían el 3.9% y si produjera vapor entonces tendrían el 9.6%, por tanto, si existe ambos entonces el rango es de 3.9% a 9.6%. Por tanto, todos los fluidos están en la roca sin importar si se distingue el calor almacenado en el agua y vapor de forma independiente,



dicho lo anterior entonces se crean las nuevas ecuaciones contabilizando los componentes tanto líquidos como vapor por separados:

$$Q_t = Q_r + Q_s + Q_w \quad ec. (9)$$

Donde:

$$Q_r = A * h * [\rho_r * C_r * (1 - \emptyset) * (T_i + T_f)] \quad ec. (10)$$

$$Q_s = A * h * [\rho_{si} * \emptyset * (1 - S_w) * (H_{si} + H_{sf})] \quad ec. (11)$$

$$Q_w = A * h * [\rho_{wi} * \emptyset * S_w * (H_{wi} + H_{wf})] \quad ec. (12)$$

Sus definiciones son la siguiente:

$Q_t$  = Energía térmica total [kJ]

$Q_r$  = Energía extraíble contenida en la roca [kJ]

$Q_s$  = Energía extraíble contenida en el vapor [kJ]

$Q_w$  = Energía extraíble contenida en el agua [kJ]

$T_i$  = temperatura media del reservorio (°C)

$S_w$  = Saturación del agua (adimensional)

$T_f$  = temperatura de abandono, final o de referencia media anual local del reservorio (°C)

$C_s$  = calor específico del vapor [kJ/kg \* °C]

$C_r$  = calor específico de la roca [kJ/kg \* °C]

$C_w$  = calor específico del agua [kJ/kg \* °C]

$A$  = Área del reservorio [ $m^2$ ]

$h$  = Espesor del reservorio [m]

$\emptyset$  = porosidad de la roca (%)

$\rho_{si}$  = densidad del vapor [ $kg/m^3$ ]

$\rho_{wi}$  = densidad del agua [ $kg/m^3$ ]



$H_{wi}$  = Entalpia del agua inicial [kJ/kg]

$H_{sf}$  = Entalpia del vapor final [kJ/kg]

$H_{wf}$  = Entalpia del agua final (temperatura de abandono) [kJ/kg]

$H_{si}$  = Entalpia del vapor inicial [kJ/kg]

La producción energética que tendrá una planta geotérmica se calcula con la siguiente ecuación considerando el recurso base accesible, es decir tomando en cuenta toda la energía térmica total existente en el recurso:

$$P = \frac{Q_t * R_f * C_e}{P_f * t} \quad ec. (13)$$

Donde:

$Q_t$  = Energía térmica total [kJ/kg]

$R_f$  = Factor de recuperación de calor [%]

$C_e$  = eficiencia de conversión eléctrica [%]

$P_f$  = factor de planta [%]

$P$  = Potencial eléctrico a instalar (MWe)

$t$  = tiempo de vida útil inicial [años]

#### 2.6.4. SIMULACIÓN DEL MODELO VOLUMÉTRICO

La mayor parte de parámetros mencionados anteriormente que son utilizados para la estimación del recurso geotérmico no se conocen con certeza, en base a esto solo podemos brindar rango de valores más probables de cada parámetro y las incertidumbres reflejadas deben cuantificarse como distribución de probabilidad independientes, la simulación muestrea cada variable independiente para una representación mejor de todos los resultados posibles si el número de pasos es grande. En el proceso de la simulación este recupera los valores posibles de las variables



independientes seleccionados aleatoriamente de las distribuciones de probabilidades asignadas, además el muestro puede realizarse iniciando de una distribución de probabilidad asignada utilizando números aleatorios generados, Lo que nos dará un resultado aleatorio dentro de los límites de una distribución de entrada asignada.

En la mayoría de los casos de distribución toman forma de una distribución normal, uniforme (rectangular) y triangular, se sabe que la distribuciones normales y triangulares es adecuado con datos reales limitados. En ausencia de algún parámetro o información el modelo de distribución uniforme rectangular es un modelo razonable. Por lo que, una simulación satisfactoria la salida de probabilidad superara un nivel de potencial.

### 2.6.5. DATOS DE ENTRADA DE LA SIMULACIÓN DE MONTECARLO

A continuación, se presentan los valores y distribuciones probabilísticas utilizados en esta investigación para la estimación del potencial eléctrico en los recursos geotérmicos de EL Salvador, algunos datos de la siguiente tabla son estimados y los más usados en diferentes investigaciones como (Zapata, 2015), (Amaya, 2013) y (Zosimo F. Sarmient, 2013), todos con la ayuda de GEO y el programa de entrenamiento de la Universidad de las Naciones Unidas.

Descripción	Variable	Unidades	Valor (min,like,max)	Tipo de distribución
-------------	----------	----------	-------------------------	----------------------



<b>Área del reservorio</b>	$A$	$km^2$	Medido	triangular
<b>Espesor del reservorio</b>	$H$	$m$	Medido	uniforme
<b>Volumen</b>	$V$	$km^3$	Calculado	Ninguno
<b>Calor específico de la roca</b>	$C_r$	$\frac{kJ}{kg \times K}$	0.9	constante
<b>Calor específico del fluido</b>	$C_f$	$\frac{kJ}{kg \times ^\circ C}$	4.2	constante
<b>Porosidad</b>	$\emptyset$	%	7%,10%,15%	Triangular
<b>Temperatura del reservorio</b>	$T_i$	$^\circ C$	Medido	Triangular
<b>Temperatura de abandono</b>	$T_a$	$^\circ C$	90	Constante
<b>Densidad de la roca</b>	$\rho_r$	$kg/m^3$	2700	Constante
<b>Densidad del fluido</b>	$\rho_f$	$kg/m^3$	Calculado	Triangular
<b>Saturación del agua del reservorio</b>	$S_w$	%	Estimado	Constante
<b>Factor de recuperación</b>	$R_f$	%	10%,15%,25%	Triangular
<b>Factor de conversión</b>	$C_e$	%	10%,10%,10%	Constante
<b>Factor de planta</b>	$P_f$	%	90%,90%,90%	Constante
<b>Tiempo</b>	$t$	Años	25,25,25	Constante

Tabla 4: parámetros de incertidumbres.

Las distribuciones presentadas en la tabla 1, tienen las siguientes definiciones:



- **Distribución triangular:** es una distribución probabilística continua que está definido por un valor mínimo “a”, pico (siendo el más probable) y un máximo “b”. En el cual algunos eventos tendrán mayor densidad de probabilidades que puede ocurrir.

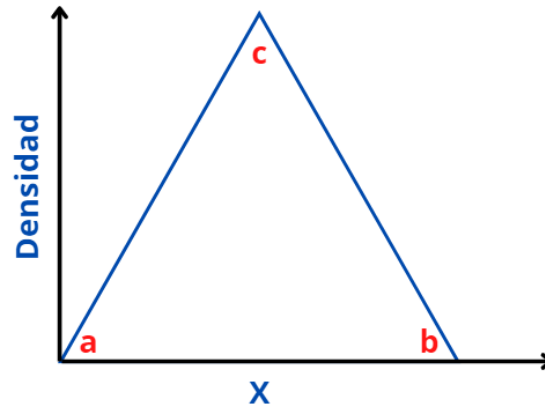


Figura 10: Distribución triangular

- **Constante:** es un valor el cual no cambiara cualquier evento.
- **Distribución uniforme:** es una distribución probabilística continúa definido que está definido por un mínimo “a” y un máximo “b”, en el cual todos los eventos tienen la misma densidad de probabilidades que puede ocurrir.

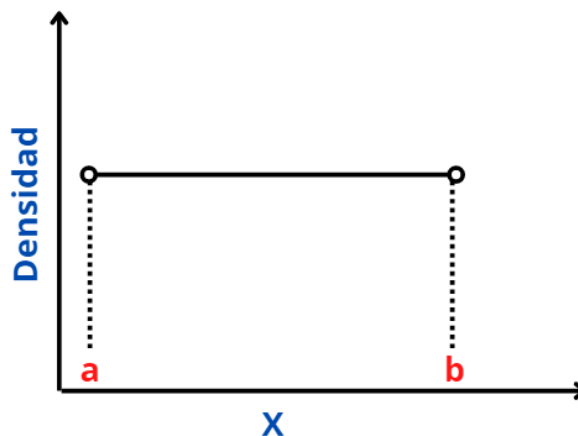


Figura 11: Distribución uniforme.

## 2.6.6. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE MONTECARLO

Los parámetros anteriores se utilizan en la simulación de Montecarlo ya sea en Excel o algún algoritmo de programa creado como veremos más adelante, por tanto, las iteraciones pueden ser muchas tanto como la computadora lo permita, cuantas más sean el resultado será eficiente, como resultado nos proporcionara los siguientes gráficos que se observan a continuación.

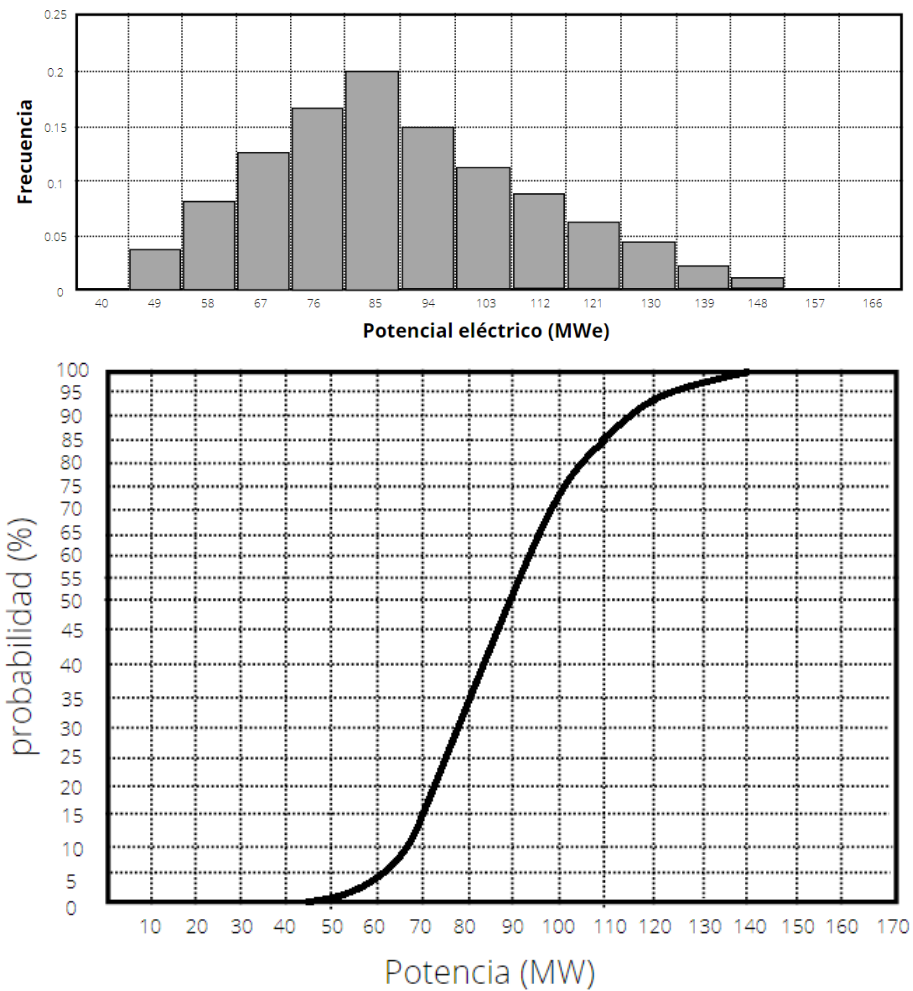


Figura 12: resultados de Montecarlo curva de frecuencia y probabilidad para la estimación de recursos geotérmicos.

### CAPITULO III



### 3.1. CALCULO DEL POTENCIAL ELECTRICO USANDO HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES.

4. Existen muchas herramientas computacionales desarrolladas para calcular un valor estimado de potencia eléctrica en base a los recursos geotérmicos empleando los métodos descritos en el capítulo II, estas herramientas están escritas en lenguajes de programación como Java, C, C++, VBA, entre otros más actualizados. Además, tiene una interfaz hombre – máquina para que sea amigable con el usuario, actualmente algunos softwares son de paga como por ejemplo **Crystall ball** de Oracle, se agrega como extensión de Excel y su precio ronda por los \$1,100.00, pero no es una herramienta completa ya que este solo se enfoca en modelar la incertidumbre de forma real y accesible de los resultados que nos brindan las ecuaciones según el método volumétrico en base a los parámetros obtenidos por medio de los estudios de la zona objetivo. Una de las herramientas profesionales que existen en el mercado para estimar el potencial geotérmico es **LeapFrog** desarrollado por SEEQUENT, esta tiene la ventaja de tomar decisiones inteligentes sobre los recursos de un área específica y lo modela de forma numérica brindando un flujo de trabajo racional, además posee resultados geoestadísticos y graficas en 3D. El precio de la licencia de uso anual o mensual del software puede rondar aproximadamente \$500.00 a 1 millón de dólares estadounidenses debido a que SEEQUENT posee un soporte técnico que ayuda a resolver los retos de la industria geotérmica desde 2012. Debido a que nuestro país El Salvador ha incrementado la deuda externa para rescatar la economía ante la llegada del COVID-19 a finales del año 2019, por tanto, se buscan soluciones con software de código abierto (no paga) y así reducir gastos en la actualidad, como recompensa se incrementa la producción energética y a su vez el crecimiento del país.

### 4.1. PYTHON COMO HERRAMIENTA COMPUTACIONAL





Una alternativa para implementar un software o una herramienta computacional para el cálculo del potencial eléctrico de un reservorio geotérmico es el lenguaje de programación **PYTHON** que actualmente es considerado uno de los lenguajes con alta tendencia o alto nivel. La versión actual es Python v.3.11 y seguirá actualizándose en el futuro.



*Figura 23: Logo del lenguaje de programación Python*

Este lenguaje es de código abierto (“open source”) el cual fue aprobado por la organización OSI (Open Source Initiative) que se dedica a la promoción del código abierto, Python ha abarcado mucho terreno actualmente ante los antiguos lenguajes de programación e incluso los nuevos que están siendo desarrollados. Las principales características de Python por lo cual fue escogido son:

- Es fácil de usar, es decir amigable con el ser humano
- Es orientado a objetos
- Es software libre
- Multiplataforma, es decir compatible con Windows, Linux y Mac
- Calidad de sintaxis
- Tiene mucho soporte y es administrado por Python Software Foundation el cual se encarga de su desarrollo.

Actualmente Python se ha implementado en varias aplicaciones como:

- Realizar cálculos científicos y de ingeniería
- Desarrollo web, mobile y desktop
- Programación de videojuegos
- Ejecutar programas gráficos
- Creación de efectos especiales



- Automatización de tareas en escritorio y en la nube
- Inteligencia artificial
- Computer visión, etc.

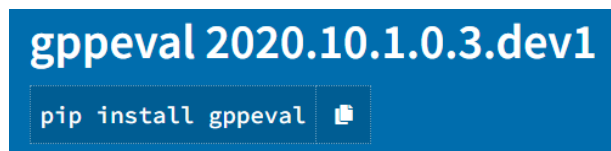
Para mayor información puede consultarse en su sitio web oficial:

<https://www.python.org/>.

Para la estimación del potencial eléctrico estimado de un reservorio geotérmico, existe una librería en este lenguaje de programación llamado **GPPEVAL** creado por el Msc. Carlos Pocasangre y Fujimitsu basados en sus investigaciones (Pocasangre, 2018). Esta librería fue subida el 2 de febrero del año 2018 y se obtiene la versión actualizada del 2 de octubre del 2020, Esta última actualización fue desarrollada por el Ing. Rubén Henríquez y el Br. Fidel Cortez en base a sus investigaciones (Ruben H., 2020), en la cual incluye la energía volumétrica en un estado bifásico (Sanyal, 2005).

se puede encontrar en los repositorios de PyPI y también se encuentra en GIT-HUB en el siguiente link:

<https://pypi.org/project/gppeval/2020.10.1.0.3.dev1/>.



*Figura 14: Librería GPPEVAL en Pypi.*

Para utilizar la librería los autores nos mencionan que se debe instalar algunos scripts complementales de forma manual:

- **Numpy**: ofrece funciones matemáticas, generaciones aleatorias de números, algebra lineal, entre otros.
- **SciPy**: ofrece estadística, algoritmos de optimización, integración, interpolación, ecuaciones algebraicas, ecuaciones diferenciales, etc.

- **Matplotlib:** ofrece crear visualizaciones graficas estáticas, animadas e interactivas.
- **Mcerp:** ofrece cálculos estocásticos para los métodos de Montecarlo que utiliza análisis de incertidumbre, evalúa directamente funciones matematizas avanzadas y funciones de estadísticas.
- **Iapws:** ofrece formulaciones recomendadas para las propiedades de agua, vapor y las soluciones acuosas, estas se dividen en muchas categorías como, por ejemplo: IAWS-06 para hielo, IAWS-08 para agua de mar y IAWS-17 para aguas pesadas.
- **Beautifultable:** ofrece imprimir los datos resultantes en un formato visualmente atractivo en cualquier terminal para los amantes de la estética.

Los complementos anteriores hacen que la librería sea muy robusta para la obtención de resultados, por tanto, nos ofrece unos scripts para el análisis de nuestros datos geofísicos que son las siguientes funciones:

- **Lectura de un archivo .CSV:** el cual extrae la información deseada para ser procesada.
- **Realiza cálculos en base al método volumétrico** y procesa los resultados e incertidumbres de forma interactiva con el análisis de **MonteCarlo**.
- **Estimación la capacidad de producción de energía eléctrica**
- **Un gráfico de frecuencia contra la potencia eléctrica generada probable** del yacimiento geotérmico en función de un numero de interacciones.
- **Gráfico con frecuencia acumulativa.**
- **Gráfico lineal de la potencia eléctrica según número de percentil.**
- **Visualización de los datos o parámetros geofísicos en tabla.**



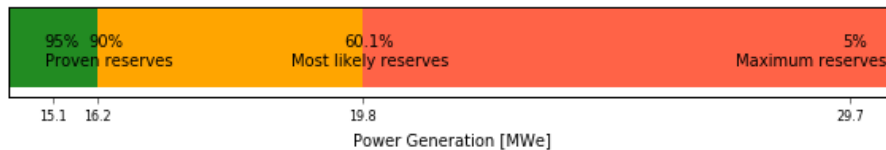
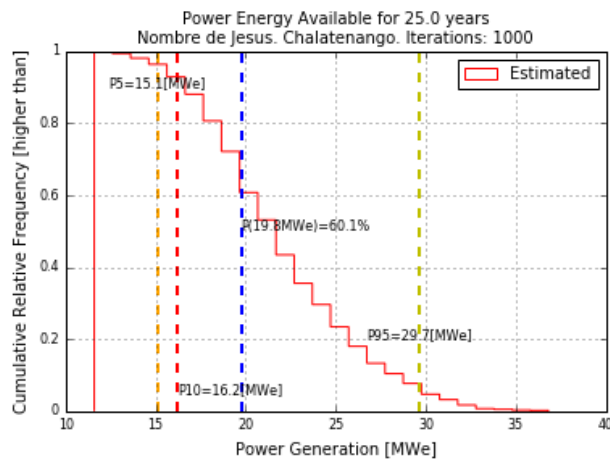
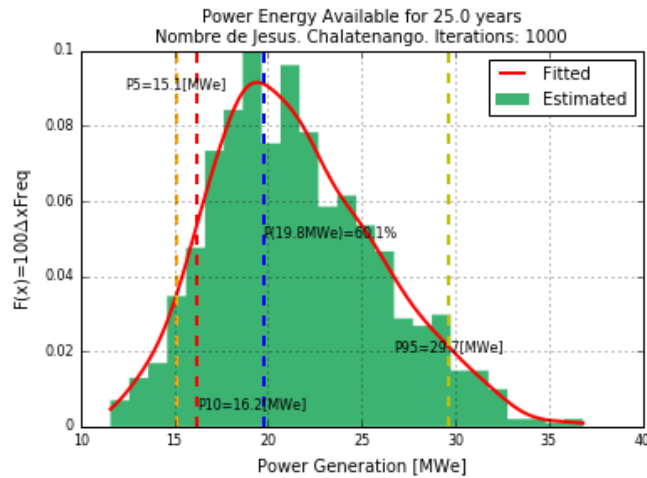


Figura 15: Gráficos ejemplos de la librería GPPEVAL para el recurso geotérmico Nombre de Jesús.

Para el uso de la librería se necesita tener instalado en la computadora, sitio web de entrenamiento y teléfono la versión de Python 3.6 o anterior como mínimo, ya que para el tiempo que fue desarrollada la librería existía con dicha versión. Es importante mencionar que puede causar problema al intentarlo ejecutar los scripts con una nueva versión de Python ya que esta puede contener nuevos métodos de escritura del lenguaje, Por lo tanto, la librería debe ser actualizada con los nuevos comandos de la versión de Python actualizada.



## 4.2. PYTHON COMO HERRAMIENTA PARA EL CALCULO DE POTENCIAL GEOTERMICO.

Una alternativa para implementar un software o una herramienta computacional para el cálculo del potencial eléctrico de un reservorio geotérmico es el lenguaje de programación **PYTHON** que actualmente es considerado uno de los lenguajes con alta tendencia o alto nivel. La versión actual es Python v.3.11 y seguirá actualizándose en el futuro.

Este lenguaje es de código abierto (“open source”) el cual fue aprobado por la organización OSI (Open Source Initiative) que se dedica a la promoción del código abierto, Python ha abarcado mucho terreno actualmente ante los antiguos lenguajes de programación e incluso los nuevos que están siendo desarrollados. Las principales características de Python por lo cual fue escogido son:

- Es fácil de usar, es decir amigable con el ser humano
- Es orientado a objetos
- Es software libre
- Multiplataforma, es decir compatible con Windows, Linux y Mac
- Calidad de sintaxis
- Tiene mucho soporte y es administrado por Python Software Foundation el cual se encarga de su desarrollo.

Actualmente Python se ha implementado en varias aplicaciones como:

- Realizar cálculos científicos y de ingeniería
- Desarrollo web, mobile y desktop
- Programación de videojuegos
- Ejecutar programas gráficos
- Creación de efectos especiales
- Automatización de tareas en escritorio y en la nube
- Inteligencia artificial



- Computer visión, etc.

Para mayor información puede consultarse en su sitio web oficial:

<https://www.python.org/>.

Para la estimación del potencial eléctrico estimado de un reservorio geotérmico, existe una librería en este lenguaje de programación llamado **GPPEVAL** creado por el Msc. Carlos Pocasangre y Fujimitsu basados en sus investigaciones (Pocasangre, 2018). Esta librería fue subida el 2 de febrero del año 2018 y se obtiene la versión actualizada del 2 de octubre del 2020, Esta última actualización fue desarrollada por el Ing. Rubén Henríquez y el Br. Fidel Cortez en base a sus investigaciones (Ruben H., 2020), en la cual incluye la energía volumétrica en un estado bifásico (Sanyal, 2005).

se puede encontrar en los repositorios de PyPI y también se encuentra en GIT-HUB en el siguiente link:

<https://pypi.org/project/gppeval/2020.10.1.0.3.dev1/>.

Para utilizar la librería los autores nos mencionan que se debe instalar algunos scripts complementales de forma manual:

- **Numpy:** ofrece funciones matemáticas, generaciones aleatorias de números, algebra lineal, entre otros.
- **SciPy:** ofrece estadística, algoritmos de optimización, integración, interpolación, ecuaciones algebraicas, ecuaciones diferenciales, etc.
- **Matplotlib:** ofrece crear visualizaciones graficas estáticas, animadas e interactivas.
- **Mcerp:** ofrece cálculos estocásticos para los métodos de Montecarlo que utiliza análisis de incertidumbre, evalúa directamente funciones matematizas avanzadas y funciones de estadísticas.
- **lapws:** ofrece formulaciones recomendadas para las propiedades de agua, vapor y las soluciones acuosas, estas se dividen en muchas categorías como, por



ejemplo: IAWS-06 para hielo, IAWS-08 para agua de mar y IAWS-17 para aguas pesadas.

- **Beautifultable:** ofrece imprimir los datos resultantes en un formato visualmente atractivo en cualquier terminal para los amantes de la estética.

Los complementos anteriores hacen que la librería sea muy robusta para la obtención de resultados, por tanto, nos ofrece unos scripts para el análisis de nuestros datos geofísicos que son las siguientes funciones:

- **Lectura de un archivo .CSV:** el cual extrae la información deseada para ser procesada.
- **Realiza cálculos en base al método volumétrico** y procesa los resultados e incertidumbres de forma interactiva con el análisis de **Montecarlo**.
- **Estimación la capacidad de producción de energía eléctrica**
- **Un gráfico de frecuencia contra la potencia eléctrica generada probable** del yacimiento geotérmico en función de un numero de interacciones.
- **Gráfico con frecuencia acumulativa.**
- **Gráfico lineal de la potencia eléctrica según número de percentil.**
- **Visualización de los datos o parámetros geofísicos en tabla.**

Para el uso de la librería se necesita tener instalado en la computadora, sitio web de entrenamiento y teléfono la versión de Python 3.6 o anterior como mínimo, ya que para el tiempo que fue desarrollada la librería existía con dicha versión. Es importante mencionar que puede causar problema al intentarlo ejecutar los scripts con una nueva versión de Python ya que esta puede contener nuevos métodos de escritura del lenguaje, Por lo tanto, la librería debe ser actualizada con los nuevos comandos de la versión de Python actualizada.

### 4.3 GOOGLE COLAB COMO INTERFAZ GRAFICA.

Existe un recurso web gratuito Google para el aprendizaje de códigos en Python dirigido a los estudiantes, científicos de datos e investigador de IA. El único requisito es tener



una cuenta de Google para poder usar esta poderosa herramienta, además posee vinculación con otras aplicaciones.



Figura 19: Google COLAB

El entorno de trabajo se denomina **notebook** de COLAB que están basadas en los notebooks de Jupyter, el cual nos permitirá escribir, editar y ejecutar código en celdas.

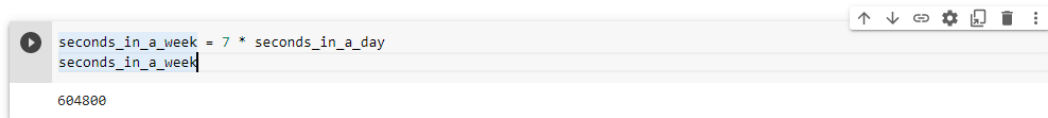





Figura 20: Celdas de Google COLAB

En la ilustración anterior podemos observar una celda, el cual brinda un fácil manejo para interactuar fácilmente un código en Python en donde:

-  es el botón de ejecución o reproducción.
-  son los botones para mover la celda arriba y debajo de otras celdas dependiendo de cómo requieres organizar tu código.
-  herramientas para compartir vínculos, configuración de la celda, cambio de ventana y eliminar la celda.

Además, los notebooks de COLAB nos permiten combinar los códigos de Python, texto, imágenes, HTML, Latex, vinculación de cuentas GIT-HUB Google Cloud Storage, enlace de consolas locales y máquinas virtuales VM, etc. Una de las nuevas actualizaciones de COLAB es que podemos hacer formularios o mejor conocido como GUI (Graphical User Interface) para la creación de aplicaciones de forma amigable y además posee auto ejecución del script creado el cual automatiza mucho la celda.







Figura 21: Formularios en COLAB.

La pregunta que muchas personas realizan es que ¿tan robusto es el recurso que brinda Google con esta herramienta COLAB?, por tanto, las GPU (Graphics Processor Unit) que es el procesador que traen las tarjetas gráficas o videos y TPU (Tensor Processing Unit) es una pieza electrónica que se utiliza para el aprendizaje neuronal de las computadoras. Estas tienen un tiempo de ejecución gratuito hasta por 12 horas seguidas y si se desea extender el tiempo de ejecución se brinda unas opciones de pago como lo es COLAB Pro e Pro+, las características de la GPU y TPU son las siguientes:

- GPU: viene con un CPU Intel Xeon a 2.20 GHz @ 13 GB de RAM, acelerador Tesla K80 y 12 GB de VRAM GDDR5.
- TPU: viene con una CPU Intel Xeon a 2.30 GHz, 13 GB de RAM y un TPU adicional en la nube con 180 Teraflops de potencia computacional.

¿Cuál es la ventaja de utilizar notebook COLAB vs notebook de Jupyter?, para contestar esta pregunta podemos ver las diferencias en la siguiente imagen.

Características del documento de código	Colaboratorio de Google	Cuaderno Jupyter
Visualización instantánea de archivos de código	Sí	No
Uso compartido de documentos de código	Sí	No
bibliotecas instaladas	Sí	No
cloud hosting	Sí	No
Sincronizando archivos	Sí	No

Figura 22: Diferencias entre COLAB y Jupyter.



Anteriormente se había mencionado que COLAB puede vincularse con varias aplicaciones de Google, por tanto, para obtener un disco duro de almacenamiento se vincula COLAB con Google Drive, el cual, Google Drive posee un límite de almacenamiento de 15 GB para usuario normal y para cuentas de instituciones o universidades esta no tiene límite.

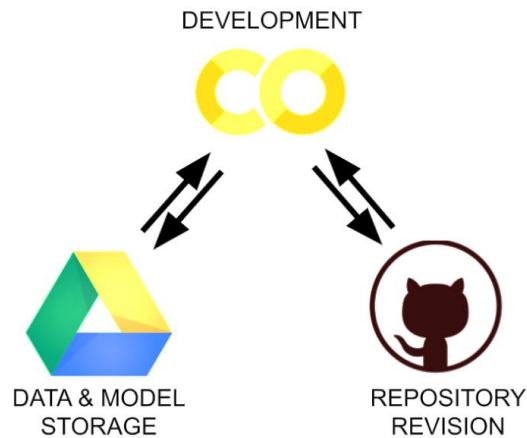


Figura 23: Ejemplo de vinculación de GIT-HUB con COLAB.

En pocas palabras, Google COLAB es un gran recurso que nos brinda GOOGLE para ser utilizado en el desarrollo de la estimación del potencial eléctrico ya que nos ofrece muchas herramientas para facilitar la investigación científica.

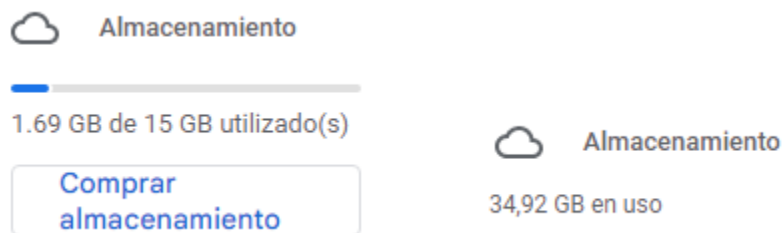


Figura 24: diferencia de almacenamiento para cuentas normales e institucional.

A continuación, se presenta una imagen en el cual se puede apreciar el potencial que tiene el lenguaje de código Python utilizando Google COLAB y la vinculación que este puede tener con las herramientas u software de alta tendencia para el estudio geofísico incluyendo la rama de la teledetección o similares.

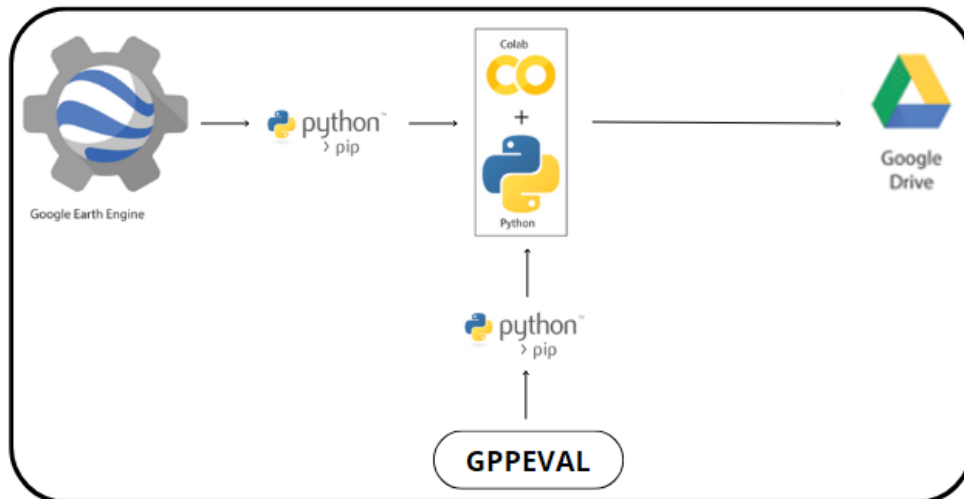


Figura 25: Esquema de vinculación entre Python y otras aplicaciones de alta tendencia en el estudio geotérmico.

En la figura anterior, se ha tomado como referencia para el vínculo de herramientas a utilizar y desarrollar una script en donde se manejará la librería GPPEVAL junto a otras herramientas que son de mucha utilidad para una mejor visualización de resultados.

#### 4.3. SINTESIS DE ESTUDIO PARA LA EXTRACION DE INFORMACION GEOCIENTIFICA EN UN YACIMIENTO GEOTERMICO.

Cuando se realiza un estudio detallado en un área específica que represente las características de un reservorio geotérmico productor o un punto caliente para explotación. Dichos estudios son realizados por expertos en la rama de geología, geofísica y geoquímica en donde aplican técnicas naturales o artificiales para medir y estimar algunos parámetros geotérmicos, algunos de los métodos o técnicas que se utilizan son:

➤ **Método gravimétrico:**

Este método mide la aceleración de la gravedad en varios puntos del terreno con el objetivo de detectar variaciones de densidades en unidades geológicas presentes en el subsuelo. El principio consiste en diseñar una red en cada punto gravimétrico por minutos con el fin de obtener una medición repetitiva y estable, luego los datos son procesados con software, los resultados de la medición pueden expresarse como:

anomalía de Bouguer, profundidad de basamento, modelos de cuenca, modelos de cuerpo denso y modelos en 3D.

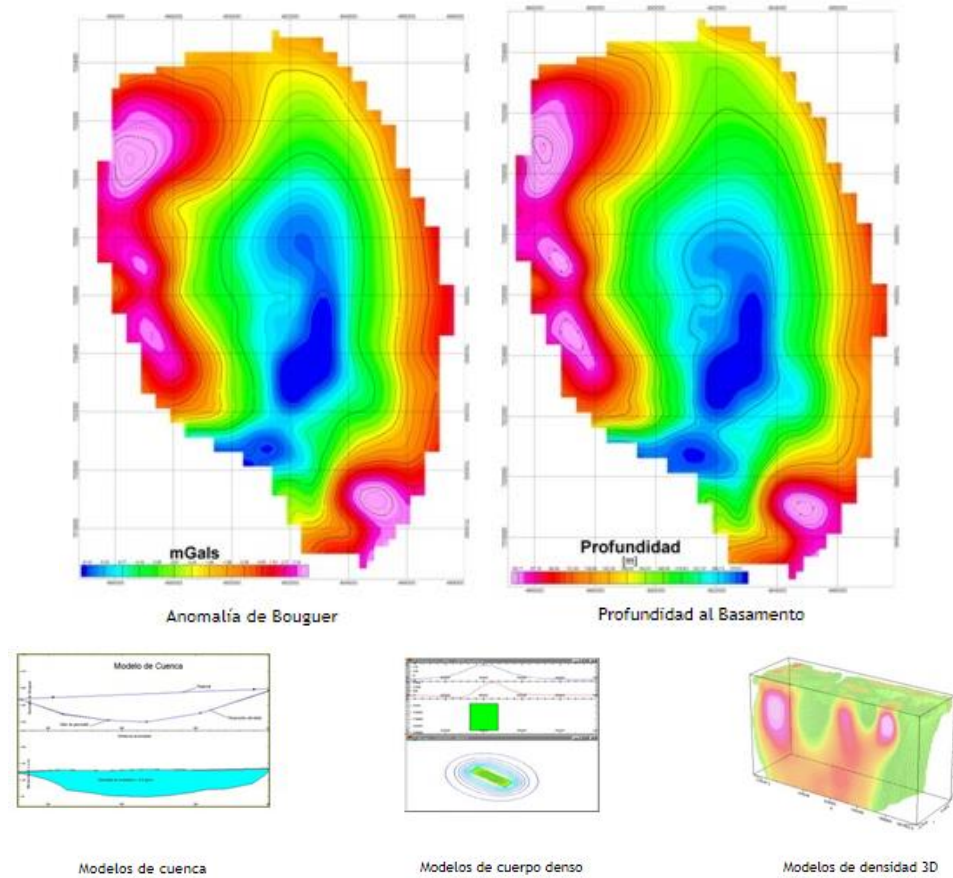


Figura 26: resultados del método gravimétrico.

➤ **Método Magnetolúrico (MT):**

Es una técnica natural que utiliza las fluctuaciones del campo electromagnético generada por la ionosfera causada por la actividad solar con el fin de obtener información de las propiedades geoelectricas del subsuelo como: sección de resistividades en profundidades de investigación a nivel del manto superficial terrestre. Sus aplicaciones pueden ser como: contactos entre materiales, identificación de zonas fracturadas y discontinuidades, detección del basamento rocoso, detección del nivel freático, estudios geotérmicos, explotación petrolera y localización u monitoreo de reservorios geológicos para el almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

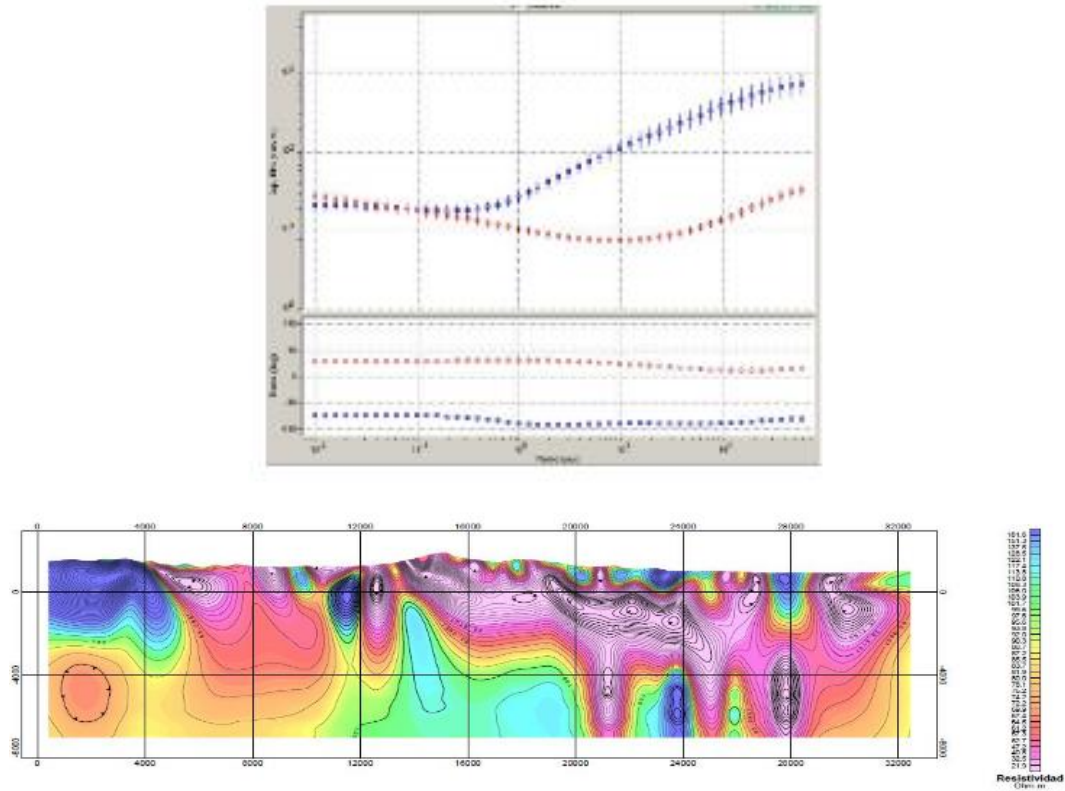


Figura 37: resultados del método magnetolúrico.

➤ **Uso Geotermómetros químicos (geoquímica):**

Son herramientas económicas que se utilizan en la predicción de temperaturas de los sistemas geotérmicos y la explicación de los principales procesos geoquímicos que interactúan en el interior de los reservorios. Debido a que son ecuaciones analíticas creadas de forma empírica por medio de base de datos con mediciones de temperaturas y fluidos, muestras de manifestaciones termales con composición química, pozos, estudios de interacción roca-agua en equilibrio químico y termodinámico. Algunos geotermómetros son de tipo: Silice y SiO<sub>2</sub> (estos presentan problemas en la medición de temperaturas debido a los procesos de pérdida de vapor, equilibrio térmico y mezcla de fluidos). Otros son de composición catiónica como: Na/K, Na-K-Ca y Na-K-Mg (estos son afectados por reacciones de intercambio iónico con minerales arcilloso, procesos con algunos cationes o desequilibrio de minerales y soluto de alteración).



Finalmente, el geotermómetro más usado es el de tipo Na/K propuesto por White (1975) y ha sufrido varias transformaciones con el fin de mejorar su predicción. En la actualidad existen nuevos geotermómetros de tipo Na/K que han sido desarrollada con la ayuda de las herramientas computaciones y geoquímicas, mejorando sus ecuaciones tomando como referencia la base de datos mundial más representativa mediante redes neuronales artificiales y geoquimiométricas basadas en la regresión lineal ordinaria.

Luego de compilar la información de temperaturas por estos geotermómetros se procesa los datos con la ayuda de software para luego ser analizados por medio de un diagrama de Giggenbach.

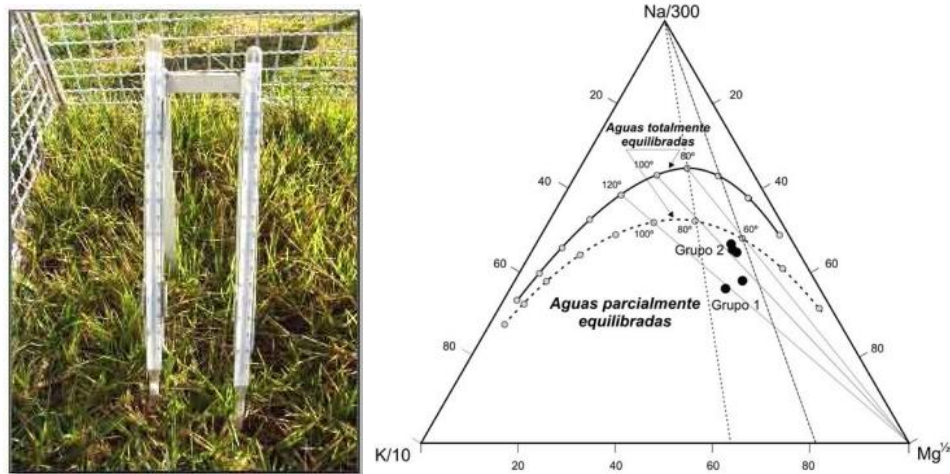


Figura 28: Geotermómetro de Na/K y diagrama de Giggenbach.

El conjunto de herramientas y métodos anteriores nos proporcionan varios parámetros geofísicos, pero nos enfocaremos solo en los siguientes parámetros: área del reservorio, Espesor del reservorio, Densidad de la roca y del fluido con sus respectivos calores específicos, la porosidad, temperatura del reservorio geotérmico y temperatura de abandono.

#### 4.4. ESTIMACION DEL POTENCIAL ELECTRICO CON PYTHON Y APLICACIONES DE GOOGLE.

La investigación de la (La Geo, S.A DE C.V, 2010), el PREG (Amaya, 2013), el PREG (Zosimo F. Sarmient, 2013). Han asumido algunos parámetros geotérmicos para la estimación del potencial geotérmico basados en los estudios de (Muffler, 1978), incluyendo sus propios estudios, por tanto, los parámetros son los siguientes:

Parámetros de reservorio			
Parámetros	variable	unidades	valor esperado
Calor específico de la roca	Cr	Kj/Kg*C	0.9
Calor específico del fluido	Cf	Kj/Kg*C	4.2
Porosidad	Ø		0.07-0.15
Densidad de la roca	pr	kg/m <sup>3</sup>	2700
Factor de recuperación	Rf		0.10-0.25
Eficiencia de conversión	Ce		0.1
Factor de plantas	Pf		0.9
Tiempo de vida útil	t	años	25

Tabla 5: Parámetros de reservorio.

Entre ellos la densidad del fluido es muy variable, por tanto, se observará en los parámetros del reservorio de las zonas estudiadas que no será el mismo presentada en la tabla anterior. Además, existirán algunos ajustes de valores del calor específico y densidad del fluido dependiendo de la temperatura interior que rondara por los siguientes valores dependiendo las temperaturas mostradas en la tabla siguiente:



Temperatura	Densidad del fluido	Calor específico del fluido
Ti (° C)	$\rho_f$ (kg/m <sup>3</sup> )	Cf (kJ/kg°C)
126	938.4	4.8
119	944.1	4.8
133	932.6	4.8
151	915.8	4.8
220	840.0	4.2
245	806.0	4.2
260	784.0	4.2
290	784.0	4.2
305	702	4.2
339	614	4.2

Tabla 6: Temperatura, Densidad y Calor Especifico.

Los archivos que serán procesados por la librería gpeval deben poseer 13 parámetros geotérmicos del área o reservorio en estudio, si el archivo posee más de 13 parámetros este presentara error u simplemente la librería no lo tomaría en cuenta.

#### 4.4.1. CONEXIÓN ENTRE GOOGLE COLAB y GOOGLE DRIVE.

Utilizando la herramienta de Google COLAB se procederá a vincular con Google drive a través del siguiente script:

```
#accesamos a nuestro almacenamiento de google drive
from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')
```

Figura 29: Script de vinculación entre COLAB y DRIVE.





Luego nos solicitara el siguiente permiso para que podamos acceder

¿Deseas permitir que el notebook acceda a tus archivos de Google Drive?

Este notebook solicita acceso a tus archivos de Google Drive. Si otorgas acceso a Google Drive, el código que se ejecute en este notebook podrá modificar archivos de tu Google Drive. Asegúrate de revisar el código del notebook antes de permitir este acceso.

No, gracias

Conectar con Google Drive

Figura 30: Solicitud de permiso de COLAB.

Por lo cual, le daremos conectar y procedemos a seleccionar nuestra cuenta de Google a la cual fue compartido la carpeta donde se encuentra los documentos .csv u la cuenta donde estaremos trabajando.

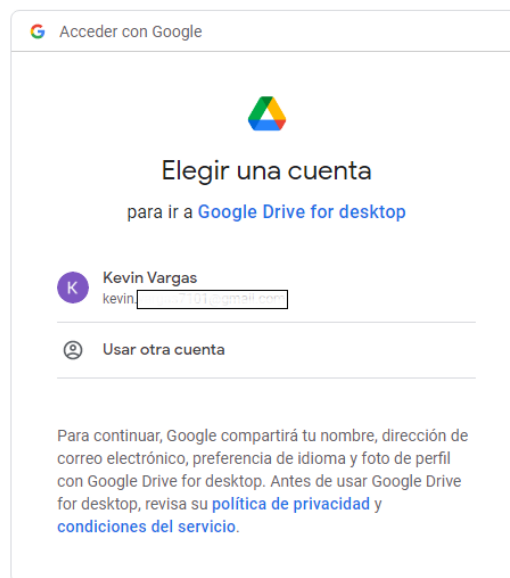


Figura 31: selección de cuenta Google.

Nos brindará una serie de acciones que podrá realizar en Google drive y le damos aceptar



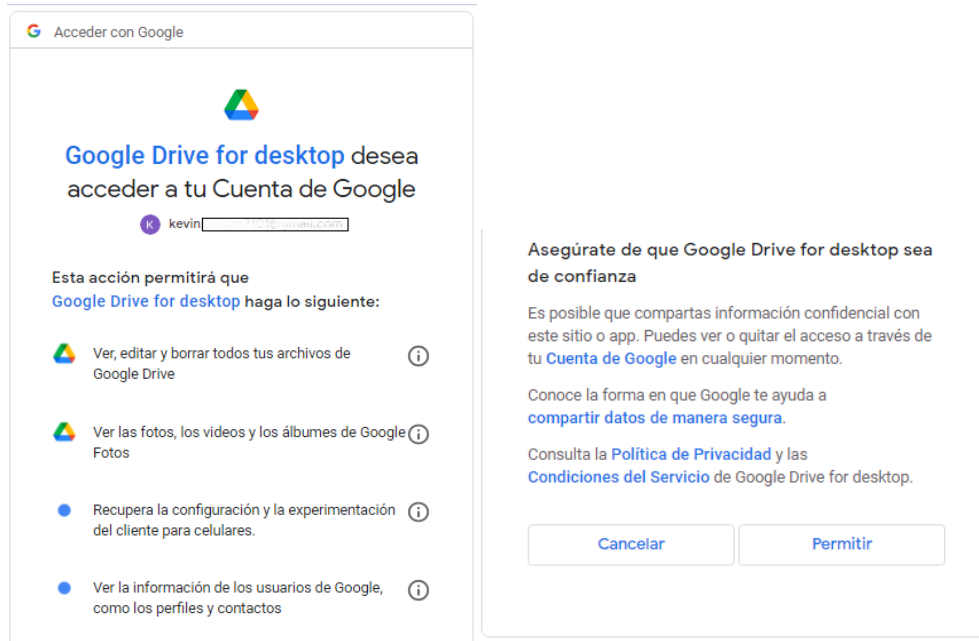


Figura 32: acciones que podemos realizar desde COLAB.

En el panel de barras izquierdo de COLAB podremos observar que ya estaremos dentro de nuestro almacenamiento de Google Drive donde podremos realizar las acciones mostradas en la imagen anterior.

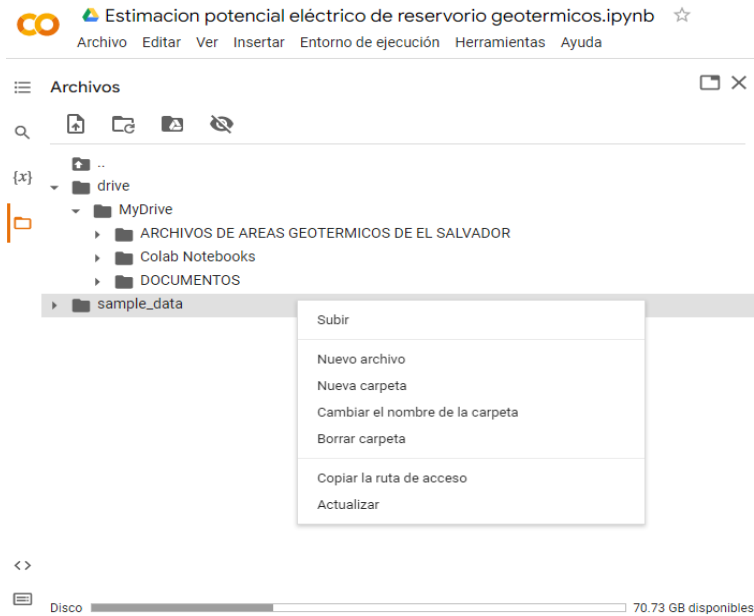


Figura 33: Archivos en nuestro almacenamiento de Google Drive.



Es importante que en el almacenamiento de usuario se encuentre la carpeta con los archivos de los parámetros geotérmicos para el estudio con la librería GPPEVAL y estos deben tener extensión .CSV de lo contrario se debe modificar.

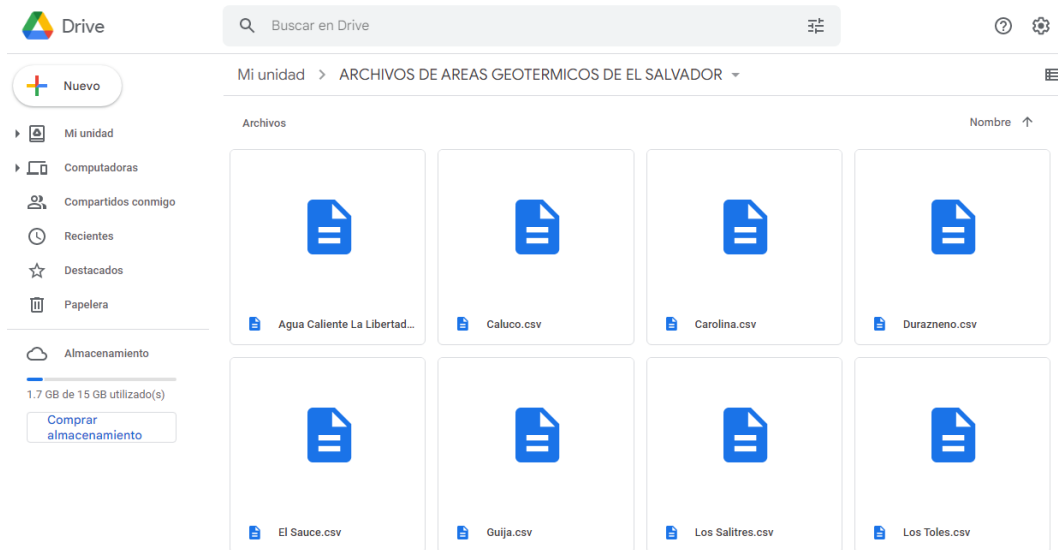


Figura 34: Archivos de parámetros geotérmicos en extensión csv.

#### 4.4.2. CONEXIÓN ENTRE GOOGLE COLAB Y GOOGLE EARTH ENGINE

El objetivo de vincular las aplicaciones de COLAB y Earth Engine, es para utilizar los datos de un gran catalogo que este proporciona, para el estudio geotérmico se debe conocer el punto geográfico del área específico, la ventaja que proporciona Earth Engine con respecto a las otras librerías es que tiene imágenes proporcionados por los satélites Lansat con una resolución de 30 m y Sentinel - 1A/2B con una alta resolución. Para utilizar esta gran herramienta desde Google COLAB se debe introducir el siguiente script:

```
# se debe crear una cuenta en google earth engine
import ee
# Trigger the authentication flow.
ee.Authenticate()

... To authorize access needed by Earth Engine, open the following URL in a web browser and follow the instructions. If the web browser does not start automatically,
https://code.earthengine.google.com/client-auth?scopes=https%3A//www.googleapis.com/auth/earthengine%20https%3A//www.googleapis.com/auth/devstorage\_full\_control

The authorization workflow will generate a code, which you should paste in the box below.
Enter verification code: 
```

Figura 34: Solicitud de permiso para Google Earth Engine.



Es importante para este paso se debe tener una cuenta y estar registrado en Google Earth Engine, para que se nos presente la siguiente imagen:

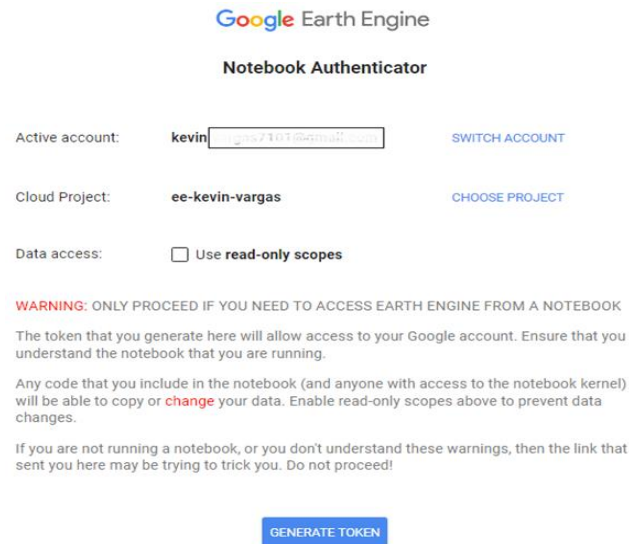


Figura 35: Generación de token para conexión con COLAB.

Luego se debe seleccionar la misma cuenta de Google

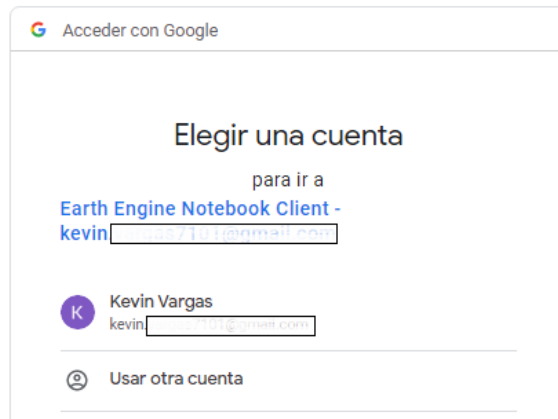


Figura 36: Selección de la cuenta de Google.

Google no verificara la aplicación debido a que esta aprueba la vinculación por tanto se debe dar clic en continuar.



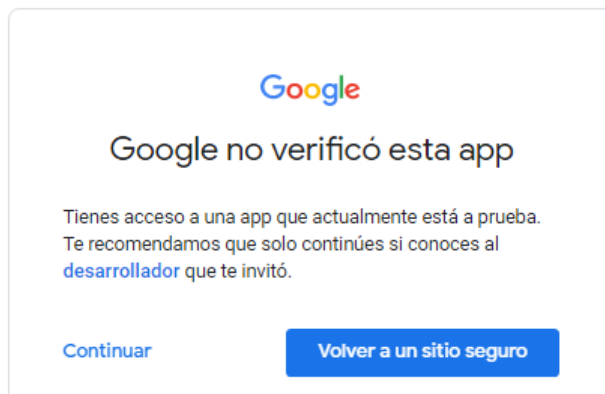


Figura 37: Mensaje de Google.

Finalmente, para obtener el token que nos pide en el inicio debemos dar permiso a los servicios de Earth Engine:

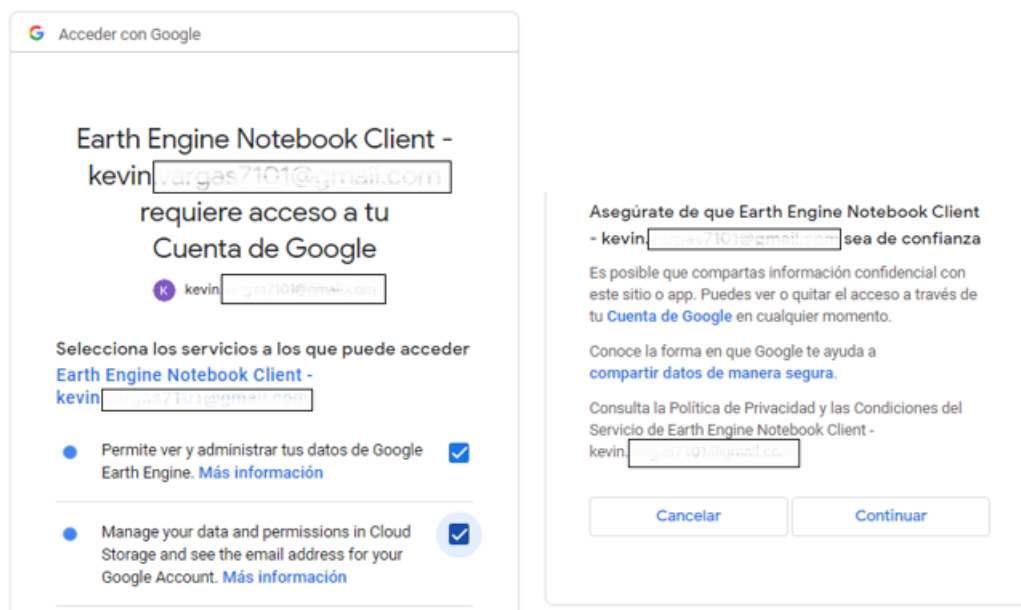


Figura 38: Solicitud de permiso para Earth Engine.



Nos proporciona el token para copiarlo y pegarlo en la celda de COLAB.

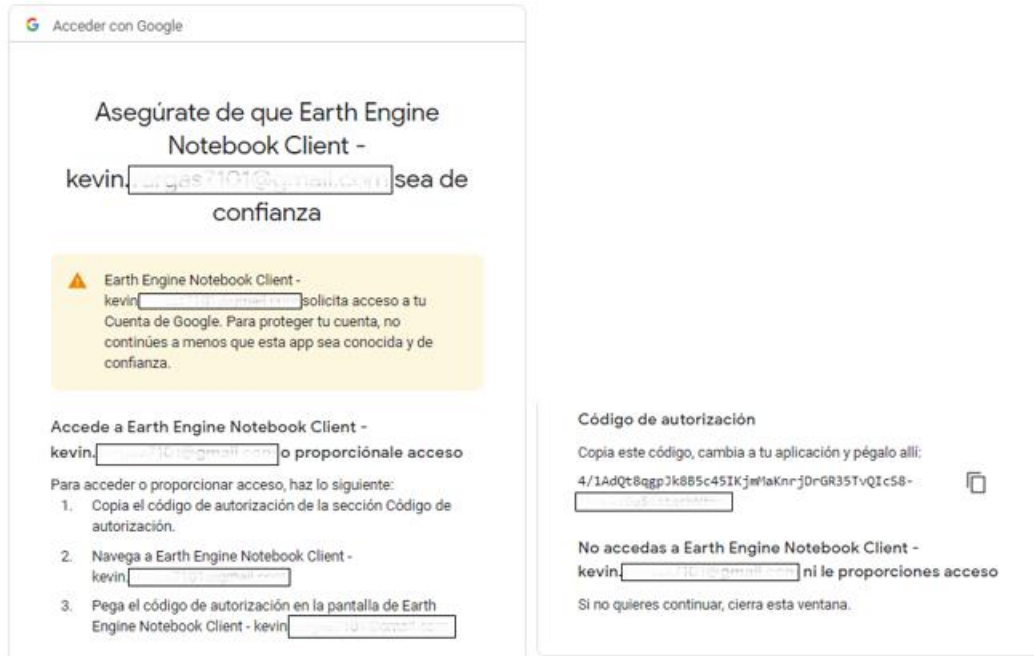


Figura 39: Código de autorización o token.

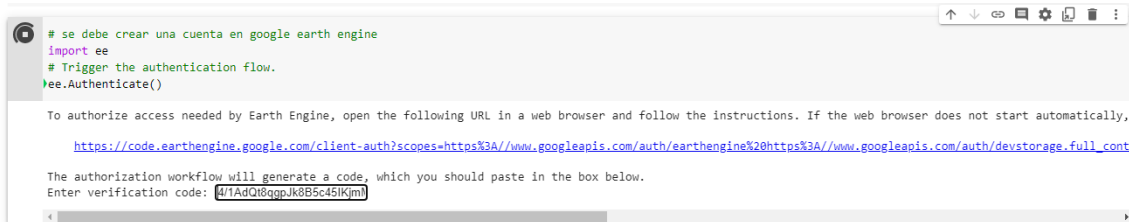


Figura 40: Introducción del código de autorización.

Finalmente nos brindara el siguiente mensaje en donde nos confirmara la vinculación con Earth Engine.

The authorization workflow will generate a code, which you should paste in the box below.  
Enter verification code: 4/1AdQt8qiPDcwRnmFqhrPEJRMbxVFXE09L910Jsd [4/1AdQt8aggJk8B5c45IKjmfIaKnrjDrGR35TvQIc58-]  
Successfully saved authorization token.

Figura 41: Mensaje de autorización.



### 4.4.3. PROGRAMACION DEL SCRIPT PARA EL CALCULO DEL POTENCIAL ELECTRICO CON GPPEVAL EN COLAB

Para instalación de la librería GPPEVAL en su versión 2020.10.1.0.3 y sus librerías recomendadas por los creadores, se debe introducir el siguiente script en la celda de COLAB.

```
#instalacion de librerias que requiere la libreria GPPEVAL
!pip install NumPy
!pip install SciPy
!pip install Matplotlib
!pip install Mcerp
!pip install IAPWS
!pip install beautifultable
!pip install gppeval==2020.10.1.0.3.dev1
```

*Figura 42: Instalación de librerías en COLAB.*

Una vez instalado las librerías esenciales se procede a programar un código en Python en donde nos presente los resultados de una forma cómoda visualmente, es decir, el código no solamente presentara sus funciones que ofrece gppeval si no también podrá ubicar el punto del área en estudio y podrá ejecutarse de forma automática al seleccionar cada punto en una caja o celda. Por tanto, procederemos a escribir los siguientes scripts:

#### 1. Llamado de las librerías:

La primera línea de código establecemos un título para la celda de resultados y hacemos que la celda se ejecute automáticamente al cambiar alguna variable dentro de ella.



```

#@title Calculo estimado del potencial electrico por el metodo volumetrico { run: "auto", vertical-output: true }
#***** LIBRERIA GPPEVAL*****
# librerias
import os
import csv
import gppeval
    
```

Figura 43: Llamado de librerías.

Con esta script mandamos a llamar las funciones que nos permitirán manipular los archivos con extensión csv, además mandamos a llamar las funciones que contiene gppeval las cuales serán utilizadas más adelante.

## 2. Introduccion de parámetros tipo GUI APP y selección de archivos de Drive desde COLAB.

En la primera línea de código podemos introducir algunos parámetros para que se muestre en la celda de resultados y desde ahí poder cambiar la variable en este caso sería la localización.

```

#Puntos de baja entalpia
Localizacion = "Durazneno" #@param ["Durazneno", "Nombre de Jesus", "Carolina", "Los Toles", "Los Salitres", "EL Sauce", "Caluco",
#***** SELECCION DE ARCHIVO EN DRIVE *****
lista_puntos = os.listdir('/content/drive/MyDrive/ARCHIVOS DE AREAS GEOTERMICOS DE EL SALVADOR')
for ruta in lista_puntos:
    with open('/content/drive/MyDrive/ARCHIVOS DE AREAS GEOTERMICOS DE EL SALVADOR/'+ ruta, newline='') as archivo_csv:
        lectura = csv.reader(archivo_csv)
        for fila in lectura:
            if Localizacion in fila[1]:
                ruta_archivo = '/content/drive/MyDrive/ARCHIVOS DE AREAS GEOTERMICOS DE EL SALVADOR/'+ruta
                Nombre_area = fila[1]
                Latitud = float(fila[2])
                Longitud = float(fila[3])
    
```

Figura 44: scripts para manipulación de variable de forma automática y archivos csv.

Luego podemos codificar la sección de selección de archivo, en el cual el comando **os.listdir** nos permitirá poder navegar en la ruta que hemos establecido, es decir podremos navegar en el almacenamiento de drive específicamente en la





carpeta llamada ARCHIVOS DE AREAS GEOTERMICAS DE EL SALVADOR, luego creamos una secuencia **for** con el objetivo de desplazarnos entre los archivos que contiene dicha carpeta y con **with open** podremos abrir cada archivo con extensión csv, el motivo de esto es para extraer la información de la ubicación expresadas en latitud y longitud para luego ser guardadas en las variables llamadas igualmente.

### 3. Manipulación de los mapas de Earth Engine junto a folium

En estas scripts procedemos al llamado de algunas funciones que son brindados por la librería folium para poder introducir imágenes de localización “pop-up”, reunir más de un punto geografico en un grupo con “markerCluster”, luego procedemos a llamar algunas funciones de librerías muy conocidas en el mundo de los científicos como numpy y pandas para el fácil manejo de variables.

```
#***** MAPA*****  
from folium.map import Popup  
import folium  
from folium import plugins  
from folium.plugins import MarkerCluster  
import pandas as pd  
import numpy as np
```

*Figura 45: Llamado de nuevas funciones y librerías para manejo de mapas.*

Ahora procedemos a programar un código en Python para la creación de nuestro mapa con folium junto a Google Earth.



```

***** MAPA GOOGLE ENGINE *****
# Agregando mapa base desde folium
basemaps = {
    'Google Satellite Hybrid': folium.TileLayer(
        tiles = 'https://mt1.google.com/vt/lyrs=y&x={x}&y={y}&z={z}',
        attr = 'Google',
        name = 'Google Satellite',
        overlay = True,
        control = True)
}

lon, lat = Longitud, Latitud
location = Latitud, Longitud
#area de interes
punto = ee.Geometry.Point(lon,lat)

#creando mi mapa
my_map = folium.Map(location, zoom_start = 75)

# Añadimos tambien las imagenes de google satelitales de earth
basemaps['Google Satellite Hybrid'].add_to(my_map)

folium.Marker(location, popup=Localizacion).add_to(my_map)

#agregando controles al mapa
my_map.add_child(folium.LayerControl())
plugins.Fullscreen().add_to(my_map)

```

Figura 46: código para la creación del mapa con sus respectivos controles.

En este código procedemos a utilizar un mapa base con **basemaps** en donde le añadimos atributos escogiendo un mapa de tipo satelital hibrido, luego guardamos los puntos de localización que hemos extraído del archivo csv del área de estudio y ubicarlo en el mapa con **ee.Geometry.Point**, luego el mapa creado nos acercamos en el mapa en el punto de localización con **folium.map(location, zoom\_star = 75)** a un 75%, luego a este mapa creado le damos la textura del mapa que nos ofrece Earth Engine en donde nos proporciona una mayor visualización en cuanto a la resolución del mapa, con el comando **folium.marker** introducimos un marcador de tipo localización en el mapa creado y finalmente al mapa le agregamos los controles necesarios para visualización de una pantalla completa e cambio de capa si fuera necesario visualizar el mapa en otro entorno.



#### 4. Visualización de mapa y ejecución de gppeval

Una vez digitado todo lo anterior procedemos a la visualización del mapa con la imagen de la localización del área en estudio esto con **Display(my\_map)**, luego procedemos a la ejecución de la librería gppeval con los siguientes scripts:

```
#mostrando el mapa
display(my_map)

#***** GPPEVAL *****
tool = gppeval.Tools()
sim = gppeval.MonteCarloSimulation()
nj = tool.read_file_csv(ruta_archivo)
sim.set_iterations(10000)
nj = sim.calc_energy_potential (nj)
tool.plot_pdf(nj, show = True)
tool.plot_pdf(nj, type_graph='higher', show=True)
tool.plot_pdf(nj, type_graph = 'linear', show = True)
tool.print_results(nj)
print(nj)
```

Figura 47: script final con la ejecución del código GPPEVAL.

En esta última script podemos ver las funciones necesarias para la obtención de la estimación del potencial geotérmico, primeramente con **gppeval.Tools()** se llama las herramientas internas de la librería gppeval, luego se añade la simulación de MonteCarlo con el comando **gppeval.MonteCarloSimulation()**, la siguiente función **tool.read\_file\_csv** nos permite leer cada archivo csv en donde contienen los parámetros geotérmicos, luego procedemos a darle parámetros del número de interacciones que queremos para la simulación en este caso el estándar son 1000 interacciones con **sim.set\_interations**.

Una vez ejecutados los códigos anteriores procedemos a la ejecutar el comando **sim.calc\_energy\_potencial()**, este último procede hacer los cálculos correspondientes de los archivos .csv basándose en el método volumétrico para

finalmente ser presentados por medio de una gráfica de frecuencia vs potencial eléctrico de generación.

Todo el código está programado para presentar una interfaz de tipo GUI en COLAB con el cual, podemos interactuar por medio de la caja de localización y así ver los puntos con su respectivo potencial geotérmico.



READ FILE ... OK  
 LD selected  
 Function LD  
 LD selected  
 Function LD  
 HINT: AREA AND THICKNESS WERE USED.  
 SIMULATION ... DONE!

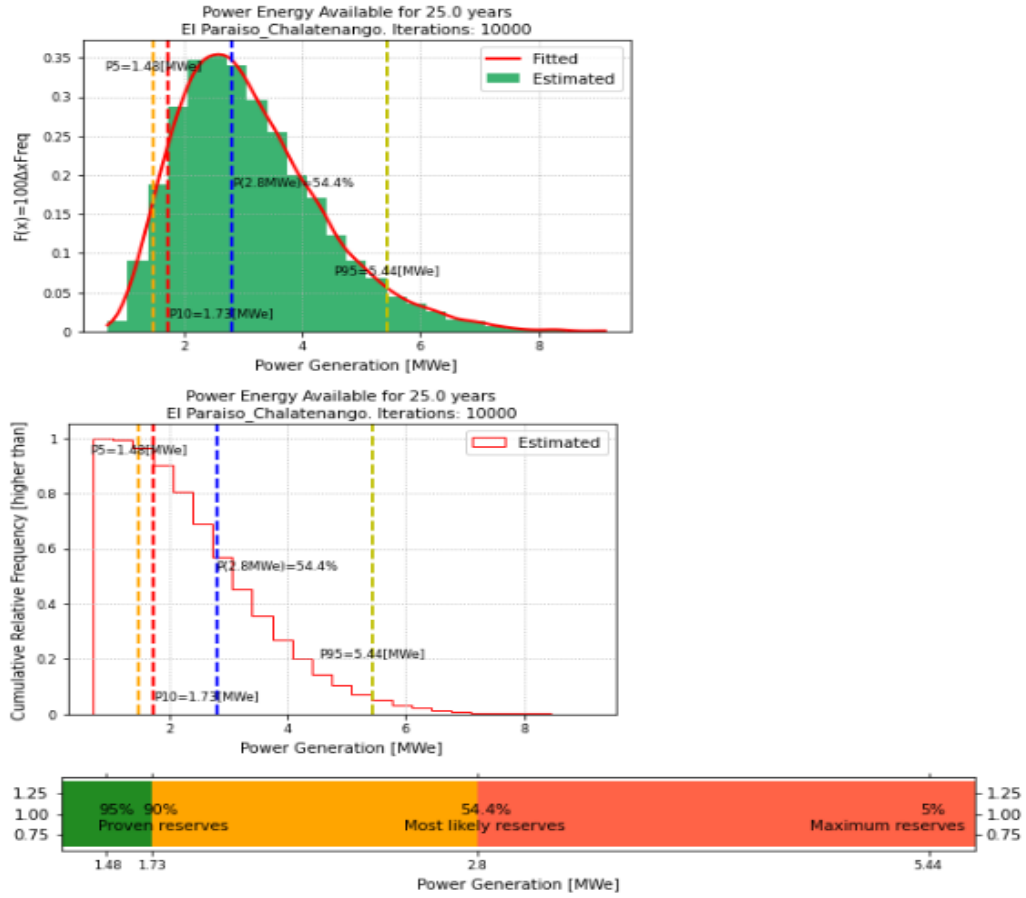


Figura 48: Ubicación del recurso geotérmico y gráficos de frecuencias.



MAIN INFORMATION:  
 Most Likely PowerGeneration [MWe]=2.80278  
 Probability of 2.80278[MWe]=0.5441  
 P10% [MWe]=1.72764

STATISTICAL ANALYSIS:  
 Iterations=10000  
 Mean=3.127[MWe]  
 Median=2.93034[MWe]  
 Standard Deviation=1.22437[MWe]  
 Skew=0.874105  
 Kurt=3.87073  
 Minimum=0.710068[MWe]  
 Maximum=9.1304[MWe]  
 P5%=1.48395[MWe]  
 P10%=1.72764[MWe]  
 P15%=1.91515[MWe]  
 P20%=2.07881[MWe]  
 P25%=2.2257[MWe]  
 P30%=2.36652[MWe]  
 P35%=2.50948[MWe]  
 P40%=2.65413[MWe]  
 P45%=2.78528[MWe]  
 P50%=2.93034[MWe]  
 P55%=3.08548[MWe]  
 P60%=3.24454[MWe]  
 P65%=3.42248[MWe]  
 P70%=3.61031[MWe]  
 P75%=3.82566[MWe]  
 P80%=4.0864[MWe]  
 P85%=4.37269[MWe]  
 P90%=4.80083[MWe]  
 P95%=5.44037[MWe]

END

name	lat [oC]	lon [oC]
El Paraiso_Chalatenango	14.107	-89.073

Item	Variable	Symbol	Units	Min	Most_Likely	Max	Mean	SD	PDF
0	area	A	km2	2.0	3.0	4.0	0.0	0.0	T
1	thickness	h	m	500.0	750.0	1000.0	0.0	0.0	U
2	volume	v	km3	1.0	2.5	4.0	0.0	0.0	
3	reservoir_temp	Tr	oC	100.0	113.0	126.0	0.0	0.0	T
4	abandon_temp	Ta	oC	90.0	90.0	90.0	0.0	0.0	C
5	porosity	phi	%	0.07	0.1	0.15	0.0	0.0	T
6	rock_specific_heat	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0.0	0.0	C
7	fluid_specific_heat	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0.0	0.0	C
8	rock_density	rho_r	kg/m3	2700.0	2700.0	2700.0	0.0	0.0	C
9	fluid_density	rho_f	kg/m3	834.0	897.0	959.0	0.0	0.0	T
10	reservoir_steam_density	rho_si	kg/m3	0.598	0.908	1.337	1.0	1.0	C
11	water Saturation	Sw	%	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	C
12	reservoir_steam_enthalpy	h_si	kJ/kg	2675.57	2695.59	2714.509	1.0	1.0	C
13	reservoir_liquid_enthalpy	h_li	kJ/kg	419.166	474.117	529.332	1.0	1.0	C
14	abandon_liquid_enthalpy	h_lf	kJ/kg	377.039	377.039	377.039	1.0	1.0	C
15	recovery_factor	RF	%	0.1	0.15	0.25	0.0	0.0	T
16	conversion_efficiency	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	C
17	plant_net_capacity_factor	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0.0	0.0	C
18	lifespan	t	years	25.0	25.0	25.0	0.0	0.0	C

Most Likely PowerGeneration: 2802780.6297056805 [We]  
 P10%: 1727642.7886919247 [We]

Figura 49: Análisis estadístico y parámetros de entrada.



#### 4.4.4. RESULTADO DE SIMULACION

Obtenido el código procederemos a realizar las respectivas simulaciones en los 18 puntos geotérmicos de El Salvador que han sido estudiados a través de los años y así conocer el potencial geotérmico para la explotación de generación de energía eléctrica según categorías. A continuación, se presentarán los parámetros del reservorio, análisis estadístico según percentiles, gráficos de frecuencias contra el potencial eléctrico y gráfico de caja.

##### ➤ Recurso geotérmico Durazneño Ahuachapán

Creando un archivo .csv con los siguientes parámetros geotérmicos para la estimación del potencial geotérmico en el área de Durazneño Ahuachapán.

#Item	Nombre_Area	Latitud	Longitud	Parametro_Reservorio	Simbolo	Unidad	Minimo	Esperado	Maximo	Media	Derivacion_Estandar	Tipo_distribucion
0	Durazneño_Ahuachapan	13.94056	-90.00864	Area	A	km2	2	2.25	2.5	0	0	T
1				Espesor	h	m	500	750	1000	0	0	U
2				Volumen	Tr	km3	1	1.75	2.5	0	0	none
3				Temperatura_Reservorio	Tr	oC	118	129	140	0	0	T
4				Temperatura_Final	Ta	oC	90	90	90	0	0	C
5				Porosidad	Phi	%	0.07	0.1	0.15	0	0	T
6				Calor_Especifico_Roca	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0	0	C
7				Calor_Epecifico_Fluido	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0	0	C
8				Densidad_Roca	rho_r	kg/m3	2700	2700	2700	0	0	C
9				Densidad_Fluido	rho_f	kg/m3	834	897	959	0	0	T
10				saturacion de agua en el reservorio	sat	%	0	1	0	0	0	C
11				Factor_Recuperacion	Rf	%	0.1	0.15	0.25	0	0	T
12				Eficiencia_Conversion	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0	0	C
13				Factor_Potencia	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0	0	C
14				Esperanza_Vida	t	years	25	25	25	0	0	C

Tabla 7: Parámetros del reservorio geotérmico Durazneño.

Algunos parámetros como la densidad del vapor, entalpia del vapor en el reservorio, entalpia del líquido en el reservorio y entalpia del líquido de abandono, estos son calculados por la librería GPPEVAL y se muestran en la siguiente imagen.



name	lat [oC]	lon [oC]
Durazneno_Ahuachapan	13.941	-90.009

Item	Variable	Symbol	Units	Min	Most_Likely	Max	Mean	SD	PDF
0	area	A	km2	2.0	2.25	2.5	0.0	0.0	T
1	thickness	h	m	500.0	750.0	1000.0	0.0	0.0	U
2	volume	v	km3	1.0	1.75	2.5	0.0	0.0	
3	reservoir_temp	Tr	oC	118.0	129.0	140.0	0.0	0.0	T
4	abandon_temp	Ta	oC	90.0	90.0	90.0	0.0	0.0	C
5	porosity	phi	%	0.07	0.1	0.15	0.0	0.0	T
6	rock_specific_heat	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0.0	0.0	C
7	fluid_specific_heat	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0.0	0.0	C
8	rock_density	rho_r	kg/m3	2700.0	2700.0	2700.0	0.0	0.0	C
9	fluid_density	rho_f	kg/m3	834.0	897.0	959.0	0.0	0.0	T
10	reservoir_steam_density	rho_si	kg/m3	1.057	1.455	1.967	1.0	1.0	C
11	Water Saturation	Sw	%	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	C
12	reservoir_steam_enthalpy	h_si	kJ/kg	2703.007	2718.7	2733.443	1.0	1.0	C
13	reservoir_liquid_enthalpy	h_li	kJ/kg	495.319	542.118	589.162	1.0	1.0	C
14	abandon_liquid_enthalpy	h_lf	kJ/kg	377.039	377.039	377.039	1.0	1.0	C
15	recovery_factor	RF	%	0.1	0.15	0.25	0.0	0.0	T
16	conversion_efficiency	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	C
17	plant_net_capacity_factor	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0.0	0.0	C
18	lifespan	t	years	25.0	25.0	25.0	0.0	0.0	C

Tabla 8: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Durazneño.

El resultado del análisis estadístico de la zona según sus percentiles siguiente:





MAIN INFORMATION:  
Most Likely PowerGeneration [MWe]=3.56441  
Probability of 3.56441[MWe]=0.5918  
P10% [MWe]=2.55557

STATISTICAL ANALYSIS:  
Iterations=10000  
Mean=3.97188[MWe]  
Median=3.84038[MWe]  
Standard Deviation=1.18242[MWe]  
Skew=0.633354  
Kurt=3.24778  
Minimum=1.38722[MWe]  
Maximum=9.41987[MWe]  
P5%=2.29507[MWe]  
P10%=2.55557[MWe]  
P15%=2.75528[MWe]  
P20%=2.93279[MWe]  
P25%=3.08838[MWe]  
P30%=3.24153[MWe]  
P35%=3.38711[MWe]  
P40%=3.53373[MWe]  
P45%=3.68351[MWe]  
P50%=3.84038[MWe]  
P55%=3.99559[MWe]  
P60%=4.14561[MWe]  
P65%=4.31519[MWe]  
P70%=4.48876[MWe]  
P75%=4.68647[MWe]  
P80%=4.91892[MWe]  
P85%=5.21084[MWe]  
P90%=5.61608[MWe]  
P95%=6.15859[MWe]

*Figura 50: Análisis estadístico del recurso geotérmico Durazneño.*

Estos resultados se pueden interpretar como la probabilidad de encontrar un potencial mayor del **2.5556 MWe es del 90%** y la expansión máxima del sistema geotérmico en un futuro es de **3.5644 MWe es de 59.18%**. A continuación, se presenta los resultados de forma gráfica:



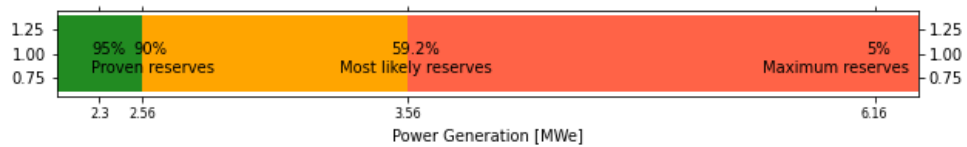
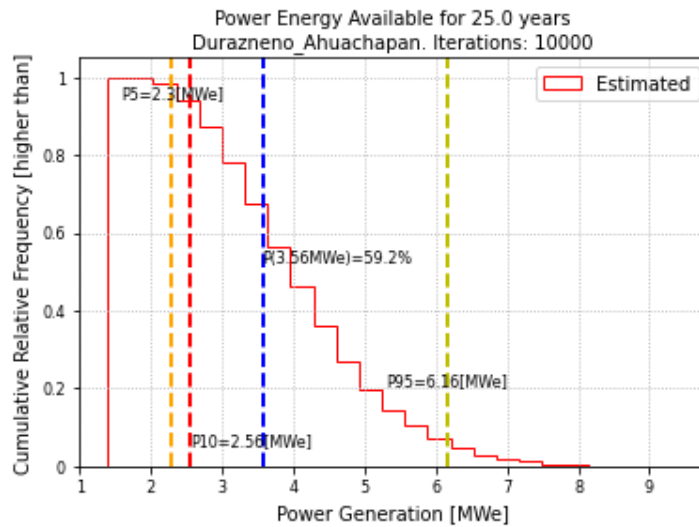
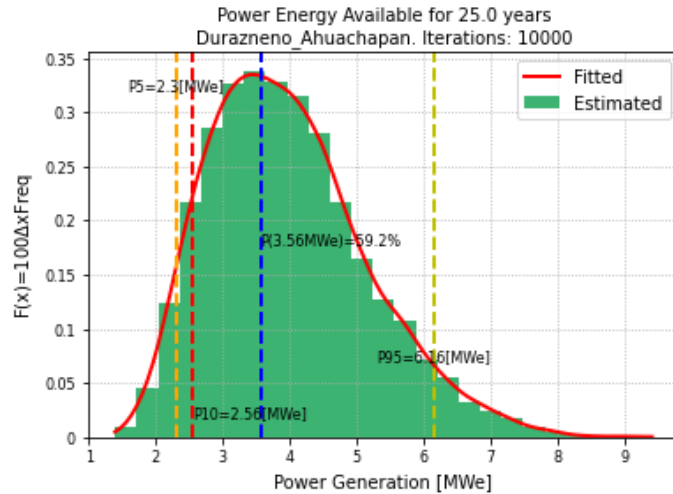


Figura 51: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico de Durazneño.

En el gráfico de frecuencia se muestra una distribución sesgada a la izquierda, los ejes rojos y azul representa la probabilidad del 90% (percentil 10) de encontrar un potencial geotérmico y la probabilidad de obtener la expansión máxima del sistema respectivamente. Una forma de ver esto claramente es en el gráfico de frecuencia acumulada en el cual se presenta un comportamiento de la gráfica tipo



escalera descendiente obteniendo una grada alta que representa el porcentaje más probable de encontrar el potencial geotérmico y decae al menos probable.

El gráfico de caja es el que muestra los resultados de forma amigable y entendible, representando con colores las secciones donde el sistema geotérmico puede operar normal o no deseada, dichos colores representan el siguiente significado:

- **Verde:**  
Zona donde el sistema geotérmico puede operar normalmente sin ningún riesgo.
- **Amarillo:**  
Es la zona donde el sistema geotérmico puede expandir su capacidad hasta un límite máximo.
- **Roja:**  
Zona donde hay mucho peligro por sobreexplotación del recurso geotérmico.

Así mismo para los resultados de los siguientes recursos geotérmicos.

➤ **Recurso Geotérmico Carolina San Miguel.**

Los parámetros geotérmicos para el reservorio Carolina San Miguel dentro del archivo csv y los resultados se observan en las siguientes figuras.



#Item	Nombre_Area	Latitud	Longitud	Parametro_Reservorio	Simbolo	Unidad	Minimo	Esperado	Maximo	Media	Derivacion_Estandar	Tipo_distribucion
0	Carolina_San Miguel	13.84218	-88.30421	Area	A	km2	2	2.25	2.5	0	0	T
1				Espesor	h	m	500	750	1000	0	0	U
2				Volumen	Tr	km3	1	1.75	2.5	0	0	none
3				Temperatura_Reservorio	Tr	oC	100	140	180	0	0	T
4				Temperatura_Final	Ta	oC	90	90	90	0	0	C
5				Porosidad	Phi	%	0.07	0.1	0.15	0	0	T
6				Calor_Especifico_Roca	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0	0	C
7				Calor_Especifico_Fluido	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0	0	C
8				Densidad_Roca	rho_r	kg/m3	2700	2700	2700	0	0	C
9				Densidad_Fluido	rho_f	kg/m3	834	897	959	0	0	T
10				saturacion de agua en el reservorio	sat	%	0	1	0	0	0	C
11				Factor_Recuperacion	Rf	%	0.1	0.15	0.25	0	0	T
12				Eficiencia_Conversion	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0	0	C
13				Factor_Potencia	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0	0	C
14				Esperanza_Vida	t	years	25	25	25	0	0	C

Table 9: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Carolina.

```

+-----+-----+-----+
| name | lat [oC] | lon [oC] |
+-----+-----+-----+
| Carolina_San Miguel | 13.842 | -88.304 |
+-----+-----+-----+

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Item | Variable | Symbol | Units | Min | Most_Likely | Max | Mean | SD | PDF |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0 | area | A | km2 | 2.0 | 2.25 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | thickness | h | m | 500.0 | 750.0 | 1000.0 | 0.0 | 0.0 | U |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 2 | volume | v | km3 | 1.0 | 1.75 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 3 | reservoir_temp | Tr | oC | 100.0 | 140.0 | 180.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 4 | abandon_temp | Ta | oC | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 5 | porosity | phi | % | 0.07 | 0.1 | 0.15 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 6 | rock_specific_heat | Cr | kJ/kg-oC | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 7 | fluid_specific_heat | Cf | kJ/kg-oC | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 8 | rock_density | rho_r | kg/m3 | 2700.0 | 2700.0 | 2700.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 9 | fluid_density | rho_f | kg/m3 | 834.0 | 897.0 | 959.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 10 | reservoir_steam_density | rho_si | kg/m3 | 0.598 | 1.967 | 5.159 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 11 | Water Saturation | Sw | % | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 12 | reservoir_steam_enthalpy | h_si | kJ/kg | 2675.57 | 2733.443 | 2777.215 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 13 | reservoir_liquid_enthalpy | h_li | kJ/kg | 419.166 | 589.162 | 763.054 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 14 | abandon_liquid_enthalpy | h_lf | kJ/kg | 377.039 | 377.039 | 377.039 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 15 | recovery_factor | RF | % | 0.1 | 0.15 | 0.25 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 16 | conversion_efficiency | Ce | % | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 17 | plant_net_capacity_factor | Pf | % | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 18 | lifespan | t | years | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

Tabla 10: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Carolina.



El resultado del análisis estadístico de la zona según sus percentiles siguiente:

```
MAIN INFORMATION:
Most Likely PowerGeneration [MWe]=4.56975
Probability of 4.56975[MWe]=0.5443
P10% [MWe]=2.49459

STATISTICAL ANALYSIS:
Iterations=10000
Mean=5.08695[MWe]
Median=4.80734[MWe]
Standard Deviation=2.20107[MWe]
Skew=0.748427
Kurt=3.59475
Minimum=0.713411[MWe]
Maximum=15.3271[MWe]
P5%=1.98981[MWe]
P10%=2.49459[MWe]
P15%=2.86998[MWe]
P20%=3.18471[MWe]
P25%=3.46373[MWe]
P30%=3.74122[MWe]
P35%=4.01167[MWe]
P40%=4.28084[MWe]
P45%=4.53491[MWe]
P50%=4.80734[MWe]
P55%=5.08991[MWe]
P60%=5.37721[MWe]
P65%=5.65704[MWe]
P70%=5.98364[MWe]
P75%=6.37072[MWe]
P80%=6.81198[MWe]
P85%=7.35643[MWe]
P90%=8.05877[MWe]
P95%=9.19567[MWe]
```

*Figura 52: Análisis estadístico del recurso geotérmico Carolina.*

La probabilidad de encontrar un potencial mayor del **2.4946 MWe es del 90%** y la expansión máxima del sistema geotérmico en un futuro es de **4.5697 MWe es de 54.43%**. A continuación, se presenta los resultados de forma gráfica:



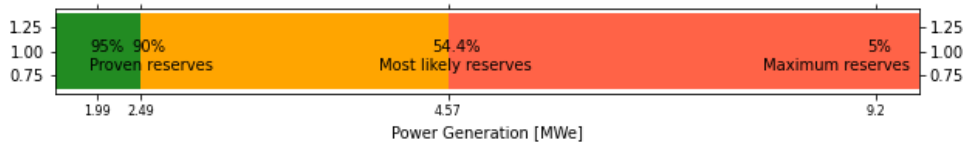
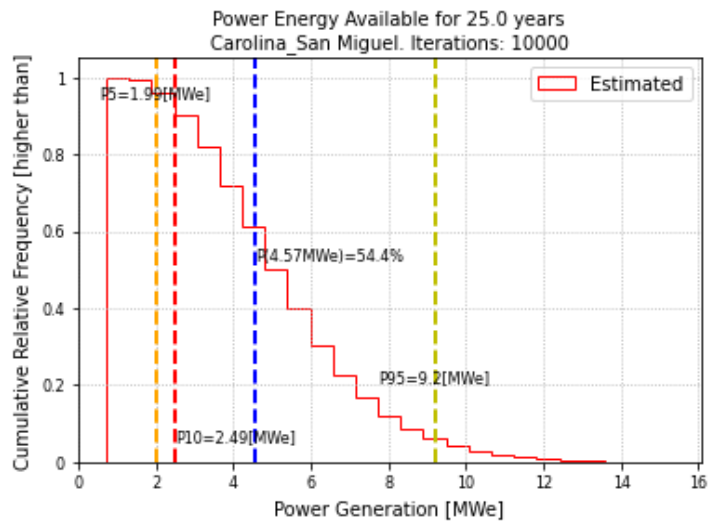
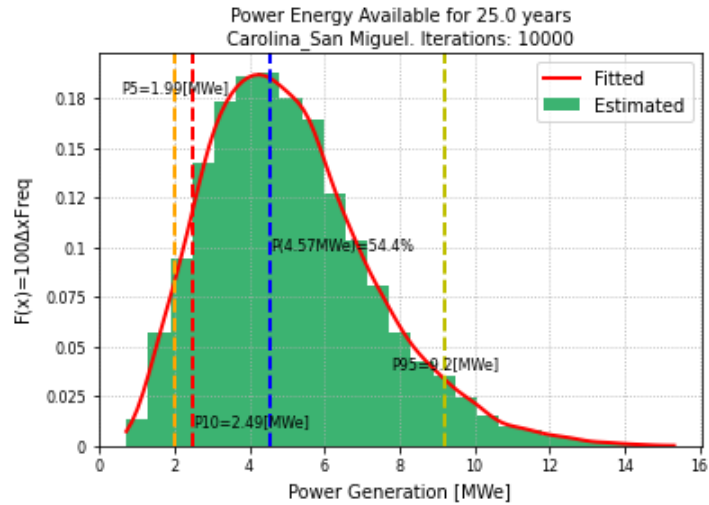


Figura 4: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico de Carolina.

### ➤ Recurso geotérmico Nombre de Jesús Chalatenango

Los parámetros geotérmicos para el reservorio Nombre de Jesús Chalatenango dentro del archivo csv y los resultados se observan en las siguientes figuras.



#Item	Nombre_Area	Latitud	Longitud	Parametro_Reservorio	Simbolo	Unidad	Minimo	Esperado	Maximo	Media	Derivacion_Estandar	Tipo_distribucion
0	Nombre de Jesus_Chalatenango	14.0025	-88.738676	Area	A	km2	2	4	6	0	0	T
1				Espesor	h	m	500	750	1000	0	0	U
2				Volumen	Tr	km3	1	3.5	6	0	0	none
3				Temperatura_Reservorio	Tr	oC	100	140	180	0	0	T
4				Temperatura_Final	Ta	oC	90	90	90	0	0	C
5				Porosidad	Phi	%	0.07	0.1	0.15	0	0	T
6				Calor_Especifico_Roca	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0	0	C
7				Calor_Epecifico_Fluido	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0	0	C
8				Densidad_Roca	rho_r	kg/m3	2700	2700	2700	0	0	C
9				Densidad_Fluido	rho_f	kg/m3	834	897	959	0	0	T
10				saturation de agua en el reservorio	sat	%	0	1	0	0	0	C
11				Factor_Recuperacion	Rf	%	0.1	0.15	0.25	0	0	T
12				Eficiencia_Conversion	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0	0	C
13				Factor_Potencia	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0	0	C
14				Esperanza_Vida	t	years	25	25	25	0	0	C

Tabla 11: Parámetros del reservorio geotérmico Nombre de Jesús.

```

+-----+-----+-----+
| name | lat [oC] | lon [oC] |
+-----+-----+-----+
| Nombre de Jesus_Chalatenango | 14.003 | -88.739 |
+-----+-----+-----+
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Item | Variable | Symbol | Units | Min | Most_Likely | Max | Mean | SD | PDF |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0 | area | A | km2 | 2.0 | 4.0 | 6.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | thickness | h | m | 500.0 | 750.0 | 1000.0 | 0.0 | 0.0 | U |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 2 | volume | v | km3 | 1.0 | 3.5 | 6.0 | 0.0 | 0.0 | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 3 | reservoir_temp | Tr | oC | 100.0 | 140.0 | 180.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 4 | abandon_temp | Ta | oC | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 5 | porosity | phi | % | 0.07 | 0.1 | 0.15 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 6 | rock_specific_heat | Cr | kJ/kg-oC | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 7 | fluid_specific_heat | Cf | kJ/kg-oC | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 8 | rock_density | rho_r | kg/m3 | 2700.0 | 2700.0 | 2700.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 9 | fluid_density | rho_f | kg/m3 | 834.0 | 897.0 | 959.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 10 | reservoir_steam_density | rho_si | kg/m3 | 0.598 | 1.967 | 5.159 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 11 | Water Saturation | Sw | % | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 12 | reservoir_steam_enthalpy | h_si | kJ/kg | 2675.57 | 2733.443 | 2777.215 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 13 | reservoir_liquid_enthalpy | h_li | kJ/kg | 419.166 | 589.162 | 763.054 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 14 | abandon_liquid_enthalpy | h_lf | kJ/kg | 377.039 | 377.039 | 377.039 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 15 | recovery_factor | RF | % | 0.1 | 0.15 | 0.25 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 16 | conversion_efficiency | Ce | % | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 17 | plant_net_capacity_factor | Pf | % | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 18 | lifespan | t | years | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

Tabla 12: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Nombre de Jesús.



El resultado del análisis estadístico de la zona según sus percentiles siguiente:

```
MAIN INFORMATION:
Most Likely PowerGeneration [MWe]=8.124
Probability of 8.124[MWe]=0.5199
P10% [MWe]=4.06355

STATISTICAL ANALYSIS:
Iterations=10000
Mean=9.05164[MWe]
Median=8.31806[MWe]
Standard Deviation=4.38886[MWe]
Skew=0.999821
Kurt=4.53911
Minimum=0.968124[MWe]
Maximum=37.4951[MWe]
P5%=3.2029[MWe]
P10%=4.06355[MWe]
P15%=4.75378[MWe]
P20%=5.32496[MWe]
P25%=5.8864[MWe]
P30%=6.36996[MWe]
P35%=6.82749[MWe]
P40%=7.3155[MWe]
P45%=7.81598[MWe]
P50%=8.31806[MWe]
P55%=8.85997[MWe]
P60%=9.42356[MWe]
P65%=10.0427[MWe]
P70%=10.8044[MWe]
P75%=11.5601[MWe]
P80%=12.4065[MWe]
P85%=13.5029[MWe]
P90%=14.8282[MWe]
P95%=17.1772[MWe]
```

*Figura 54: Análisis estadístico del recurso geotérmico Nombre de Jesús.*

La probabilidad de encontrar un potencial mayor del **4.0635 MWe es del 90%** y la expansión máxima del sistema geotérmico en un futuro es de **8.124 MWe es de 51.99%**. A continuación, se presenta los resultados de forma gráfica:





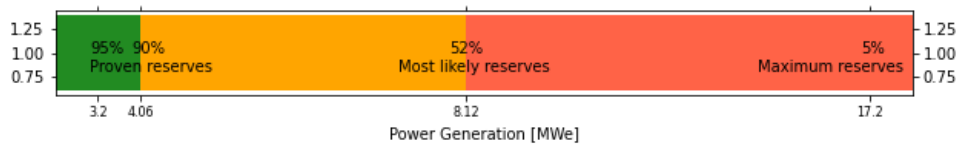
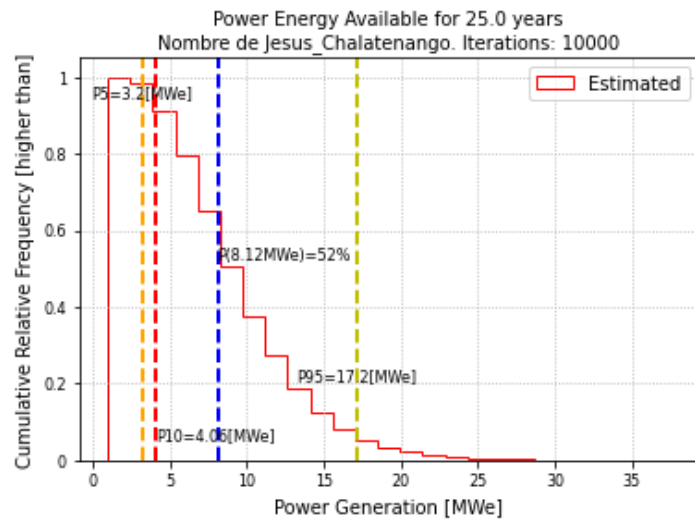
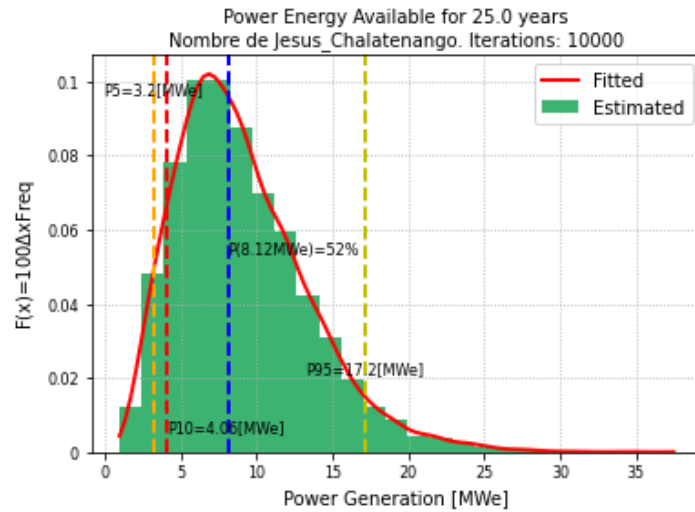


Figura 55: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Nombre de Jesús.

### ➤ Reservorio geotérmico Los Toles Ahuachapán

Los parámetros geotérmicos para el reservorio Los Toles Ahuachapán dentro del archivo .csv y los resultados se observan en las siguientes figuras.



#item	Nombre_Area	Latitud	Longitud	Parametro_Reservorio	Simbolo	Unidad	Minimo	Esperado	Maximo	Media	Derivacion_Estandar	Tipo_distribucion
0	Los Toles_Ahuachapan	13.963083	-89.95625	Area	A	km2	2	2.25	2.5	0	0	T
1				Espesor	h	m	500	750	1000	0	0	U
2				Volumen	Tr	km3	1	1.75	2.5	0	0	none
3				Temperatura_Reservorio	Tr	oC	100	125	150	0	0	T
4				Temperatura_Final	Ta	oC	90	90	90	0	0	C
5				Porosidad	Phi	%	0.07	0.1	0.15	0	0	T
6				Calor_Especifico_Roca	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0	0	C
7				Calor_Especifico_Fluido	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0	0	C
8				Densidad_Roca	rho_r	kg/m3	2700	2700	2700	0	0	C
9				Densidad_Fluido	rho_f	kg/m3	834	897	959	0	0	T
10				saturation de agua en el reservorio	sat	%	0	1	0	0	0	C
11				Factor_Recuperacion	Rf	%	0.1	0.15	0.25	0	0	T
12				Eficiencia_Conversion	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0	0	C
13				Factor_Potencia	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0	0	C
14				Esperanza_Vida	t	years	25	25	25	0	0	C

Tabla 13: Parámetros del reservorio geotérmico Los Toles.

```

+-----+-----+-----+
| name | lat [oC] | lon [oC] |
+-----+-----+-----+
| Los Toles_Ahuachapan | 13.963 | -89.956 |
+-----+-----+-----+
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Item | Variable | Symbol | Units | Min | Most_Likely | Max | Mean | SD | PDF |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0 | area | A | km2 | 2.0 | 2.25 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | thickness | h | m | 500.0 | 750.0 | 1000.0 | 0.0 | 0.0 | U |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 2 | volume | v | km3 | 1.0 | 1.75 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 3 | reservoir_temp | Tr | oC | 100.0 | 125.0 | 150.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 4 | abandon_temp | Ta | oC | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 5 | porosity | phi | % | 0.07 | 0.1 | 0.15 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 6 | rock_specific_heat | Cr | kJ/kg-oC | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 7 | fluid_specific_heat | Cf | kJ/kg-oC | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 8 | rock_density | rho_r | kg/m3 | 2700.0 | 2700.0 | 2700.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 9 | fluid_density | rho_f | kg/m3 | 834.0 | 897.0 | 959.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 10 | reservoir_steam_density | rho_si | kg/m3 | 0.598 | 1.299 | 2.548 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 11 | Water Saturation | Sw | % | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 12 | reservoir_steam_enthalpy | h_si | kJ/kg | 2675.57 | 2713.097 | 2745.925 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 13 | reservoir_liquid_enthalpy | h_li | kJ/kg | 419.166 | 525.074 | 632.179 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 14 | abandon_liquid_enthalpy | h_lf | kJ/kg | 377.039 | 377.039 | 377.039 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 15 | recovery_factor | RF | % | 0.1 | 0.15 | 0.25 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 16 | conversion_efficiency | Ce | % | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 17 | plant_net_capacity_factor | Pf | % | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 18 | lifespan | t | years | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

Tabla 14: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Los Toles.



El resultado del análisis estadístico de la zona según sus percentiles siguiente:

```
MAIN INFORMATION:
Most Likely PowerGeneration [MWe]=3.19883
Probability of 3.19883[MWe]=0.5482
P10% [MWe]=1.87575

STATISTICAL ANALYSIS:
Iterations=10000
Mean=3.56351[MWe]
Median=3.37089[MWe]
Standard Deviation=1.44992[MWe]
Skew=0.775314
Kurt=3.69103
Minimum=0.62319[MWe]
Maximum=11.2116[MWe]
P5%=1.55225[MWe]
P10%=1.87575[MWe]
P15%=2.10561[MWe]
P20%=2.29432[MWe]
P25%=2.49261[MWe]
P30%=2.68443[MWe]
P35%=2.85711[MWe]
P40%=3.02177[MWe]
P45%=3.19318[MWe]
P50%=3.37089[MWe]
P55%=3.55498[MWe]
P60%=3.7414[MWe]
P65%=3.94524[MWe]
P70%=4.16631[MWe]
P75%=4.39892[MWe]
P80%=4.69885[MWe]
P85%=5.03902[MWe]
P90%=5.52141[MWe]
P95%=6.26121[MWe]
```

*Figura 56: Análisis estadístico del recurso geotérmico Los Toles.*

La probabilidad de encontrar un potencial mayor del **1.8757 MWe es del 90%** y la expansión máxima del sistema geotérmico en un futuro es de **3.1988 MWe es de 54.82%**. A continuación, se presenta los resultados de forma gráfica:



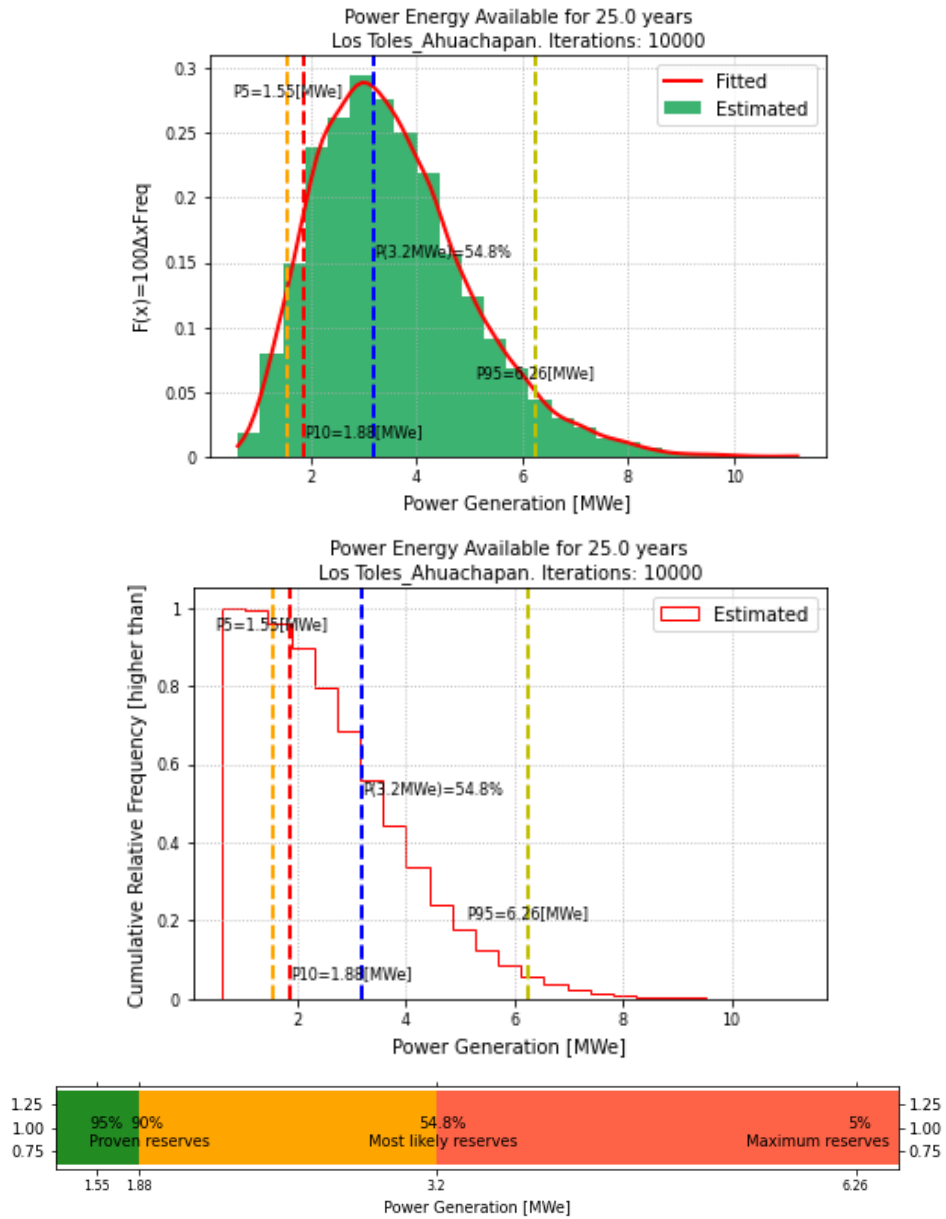


Figura 57: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Los Toles.

### ➤ Reservorio geotérmico Los Salitres Ahuachapán

Los parámetros geotérmicos para el reservorio Los Salitres Ahuachapán dentro del archivo .csv y los resultados se observan en las siguientes figuras.



#Item	Nombre_Area	Latitud	Longitud	Parametro_Reservorio	Simbolo	Unidad	Minimo	Esperado	Maximo	Media	Derivacion_Estandar	Tipo_distribucion
0	Los Salitres_Ahuachapan	14.013167	-89.908361	Area	A	km2	2	2.25	2.5	0	0	T
1				Espesor	h	m	500	750	1000	0	0	U
2				Volumen	Tr	km3	1	1.75	2.5	0	0	none
3				Temperatura_Reservorio	Tr	oC	110	123	135	0	0	T
4				Temperatura_Final	Ta	oC	90	90	90	0	0	C
5				Porosidad	Phi	%	0.07	0.1	0.15	0	0	T
6				Calor_Especifico_Roca	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0	0	C
7				Calor_Epecifico_Fluido	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0	0	C
8				Densidad_Roca	rho_r	kg/m3	2700	2700	2700	0	0	C
9				Densidad_Fluido	rho_f	kg/m3	834	897	959	0	0	T
10				saturacion de agua en el reservorio	sat	%	0	1	0	0	0	C
11				Factor_Recuperacion	Rf	%	0.1	0.15	0.25	0	0	T
12				Eficiencia_Conversion	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0	0	C
13				Factor_Potencia	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0	0	C
14				Esperanza_Vida	t	years	25	25	25	0	0	C

Tabla 15: Parámetros del reservorio geotérmico Los Salitres.

```

+-----+-----+-----+
|      name      | lat [oC] | lon [oC] |
+-----+-----+-----+
| Los Salitres_Ahuachapan | 14.013 | -89.908 |
+-----+-----+-----+
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Item | Variable | Symbol | Units | Min | Most_Likely | Max | Mean | SD | PDF |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0 | area | A | km2 | 2.0 | 2.25 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | thickness | h | m | 500.0 | 750.0 | 1000.0 | 0.0 | 0.0 | U |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 2 | volume | v | km3 | 1.0 | 1.75 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 3 | reservoir_temp | Tr | oC | 110.0 | 123.0 | 135.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 4 | abandon_temp | Ta | oC | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 5 | porosity | phi | % | 0.07 | 0.1 | 0.15 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 6 | rock_specific_heat | Cr | kJ/kg-oC | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 7 | fluid_specific_heat | Cf | kJ/kg-oC | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 8 | rock_density | rho_r | kg/m3 | 2700.0 | 2700.0 | 2700.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 9 | fluid_density | rho_f | kg/m3 | 834.0 | 897.0 | 959.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 10 | reservoir_steam_density | rho_si | kg/m3 | 0.827 | 1.226 | 1.719 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 11 | Water Saturation | Sw | % | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 12 | reservoir_steam_enthalpy | h_si | kJ/kg | 2691.061 | 2710.251 | 2726.867 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 13 | reservoir_liquid_enthalpy | h_li | kJ/kg | 461.415 | 516.564 | 567.745 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 14 | abandon_liquid_enthalpy | h_lf | kJ/kg | 377.039 | 377.039 | 377.039 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 15 | recovery_factor | RF | % | 0.1 | 0.15 | 0.25 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 16 | conversion_efficiency | Ce | % | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 17 | plant_net_capacity_factor | Pf | % | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 18 | lifespan | t | years | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

Tabla 16: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Los Salitres.



El resultado del análisis estadístico de la zona según sus percentiles siguiente:

```
MAIN INFORMATION:
Most Likely PowerGeneration [MWe]=3.01604
Probability of 3.01604[MWe]=0.5675
P10% [MWe]=2.06434

STATISTICAL ANALYSIS:
Iterations=10000
Mean=3.33076[MWe]
Median=3.18252[MWe]
Standard Deviation=1.07152[MWe]
Skew=0.729939
Kurt=3.56235
Minimum=0.970761[MWe]
Maximum=8.15692[MWe]
P5%=1.8281[MWe]
P10%=2.06434[MWe]
P15%=2.25118[MWe]
P20%=2.409[MWe]
P25%=2.54431[MWe]
P30%=2.67504[MWe]
P35%=2.80873[MWe]
P40%=2.93577[MWe]
P45%=3.05842[MWe]
P50%=3.18252[MWe]
P55%=3.31404[MWe]
P60%=3.45405[MWe]
P65%=3.62416[MWe]
P70%=3.79812[MWe]
P75%=3.9792[MWe]
P80%=4.17725[MWe]
P85%=4.46482[MWe]
P90%=4.78278[MWe]
P95%=5.28379[MWe]
```

*Figura 58: Análisis estadístico del recurso geotérmico Los Salitres.*

La probabilidad de encontrar un potencial mayor del **2.0643 MWe es del 90%** y la expansión máxima del sistema geotérmico en un futuro es de **3.016 MWe es de 56.75%**. A continuación, se presenta los resultados de forma gráfica:



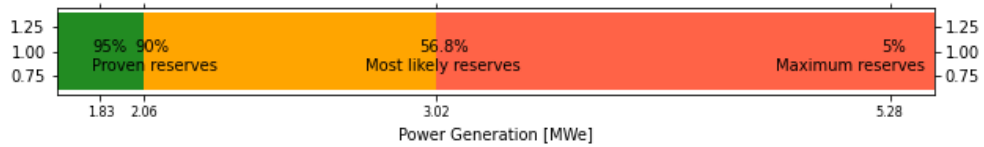
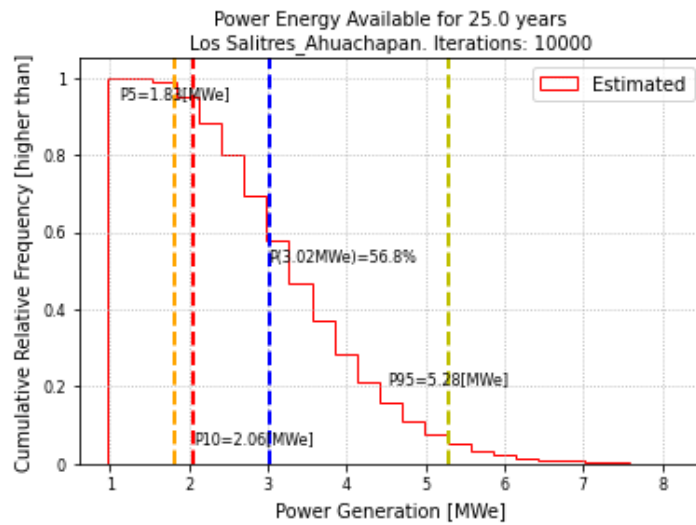
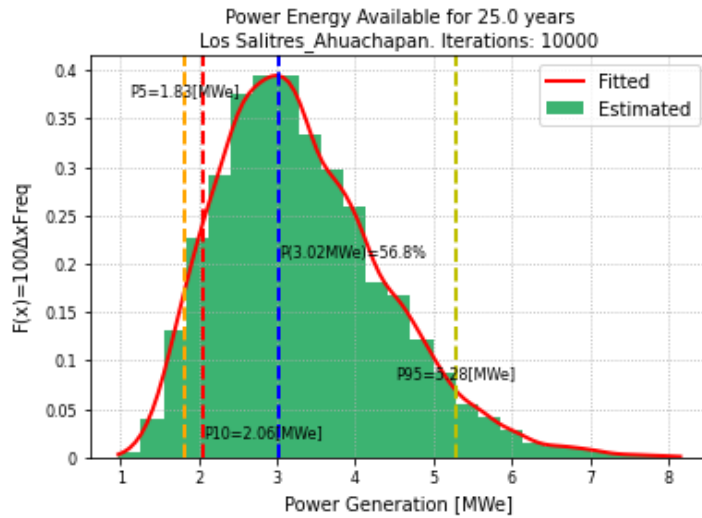


Figura 59: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Los Salitres.

### ➤ Reservorio geotérmico El Sauce La Unión

Los parámetros geotérmicos para el reservorio El Sauce La Unión dentro del archivo .csv y los resultados se observan en las siguientes figuras.



#item	Nombre_Area	Latitud	Longitud	Parametro_Reservorio	Simbolo	Unidad	Minimo	Esperado	Maximo	Media	Derivacion_Estandar	Tipo_distribucion
0	EL Sauce_La Union	13.667874	-87.795171	Area	A	km2	2	6	10	0	0	T
1				Espesor	h	m	500	750	1000	0	0	U
2				Volumen	Tr	km3	1	5.5	10	0	0	none
3				Temperatura_Reservorio	Tr	oC	100	110	120	0	0	T
4				Temperatura_Final	Ta	oC	90	90	90	0	0	C
5				Porosidad	Phi	%	0.07	0.1	0.15	0	0	T
6				Calor_Especifico_Roca	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0	0	C
7				Calor_Epecifico_Fluido	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0	0	C
8				Densidad_Roca	rho_r	kg/m3	2700	2700	2700	0	0	C
9				Densidad_Fluido	rho_f	kg/m3	834	897	959	0	0	T
10				saturacion de agua en el reservorio	sat	%	0	1	0	0	0	C
11				Factor_Recuperacion	Rf	%	0.1	0.15	0.25	0	0	T
12				Eficiencia_Conversion	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0	0	C
13				Factor_Potencia	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0	0	C
14				Esperanza_Vida	t	years	25	25	25	0	0	C

Tabla 17: Parámetros del reservorio geotérmico El Sauce.

```

+-----+-----+
| name | lat [oC] | lon [oC] |
+-----+-----+
| EL Sauce_La Union | 13.668 | -87.795 |
+-----+-----+

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Item | Variable | Symbol | Units | Min | Most_Likely | Max | Mean | SD | PDF |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0 | area | A | km2 | 2.0 | 6.0 | 10.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | thickness | h | m | 500.0 | 750.0 | 1000.0 | 0.0 | 0.0 | U |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 2 | volume | v | km3 | 1.0 | 5.5 | 10.0 | 0.0 | 0.0 | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 3 | reservoir_temp | Tr | oC | 100.0 | 110.0 | 120.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 4 | abandon_temp | Ta | oC | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 5 | porosity | phi | % | 0.07 | 0.1 | 0.15 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 6 | rock_specific_heat | Cr | kJ/kg-oC | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 7 | fluid_specific_heat | Cf | kJ/kg-oC | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 8 | rock_density | rho_r | kg/m3 | 2700.0 | 2700.0 | 2700.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 9 | fluid_density | rho_f | kg/m3 | 834.0 | 897.0 | 959.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 10 | reservoir_steam_density | rho_si | kg/m3 | 0.598 | 0.827 | 1.122 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 11 | Water Saturation | Sw | % | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 12 | reservoir_steam_enthalpy | h_si | kJ/kg | 2675.57 | 2691.061 | 2705.926 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 13 | reservoir_liquid_enthalpy | h_li | kJ/kg | 419.166 | 461.415 | 503.812 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 14 | abandon_liquid_enthalpy | h_lf | kJ/kg | 377.039 | 377.039 | 377.039 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 15 | recovery_factor | RF | % | 0.1 | 0.15 | 0.25 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 16 | conversion_efficiency | Ce | % | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 17 | plant_net_capacity_factor | Pf | % | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 18 | lifespan | t | years | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

Tabla 18: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico El Sauce.





El resultado del análisis estadístico de la zona según sus percentiles siguiente:

```
MAIN INFORMATION:
Most Likely PowerGeneration [MWe]=4.8744
Probability of 4.8744[MWe]=0.5223
P10% [MWe]=2.69288

STATISTICAL ANALYSIS:
Iterations=10000
Mean=5.43716[MWe]
Median=5.00782[MWe]
Standard Deviation=2.44679[MWe]
Skew=0.983977
Kurt=4.22196
Minimum=0.733429[MWe]
Maximum=17.9866[MWe]
P5%=2.21655[MWe]
P10%=2.69288[MWe]
P15%=3.03538[MWe]
P20%=3.34259[MWe]
P25%=3.62458[MWe]
P30%=3.90959[MWe]
P35%=4.21501[MWe]
P40%=4.47764[MWe]
P45%=4.73091[MWe]
P50%=5.00782[MWe]
P55%=5.33234[MWe]
P60%=5.64609[MWe]
P65%=5.99187[MWe]
P70%=6.3327[MWe]
P75%=6.77429[MWe]
P80%=7.27085[MWe]
P85%=7.92661[MWe]
P90%=8.76877[MWe]
P95%=10.1532[MWe]
```

*Figura 60: Análisis estadístico del recurso geotérmico El Sauce.*

La probabilidad de encontrar un potencial mayor del **2.6929 MWe es del 90%** y la expansión máxima del sistema geotérmico en un futuro es de **4.8744 MWe es de 52.23%**. A continuación, se presenta los resultados de forma gráfica:



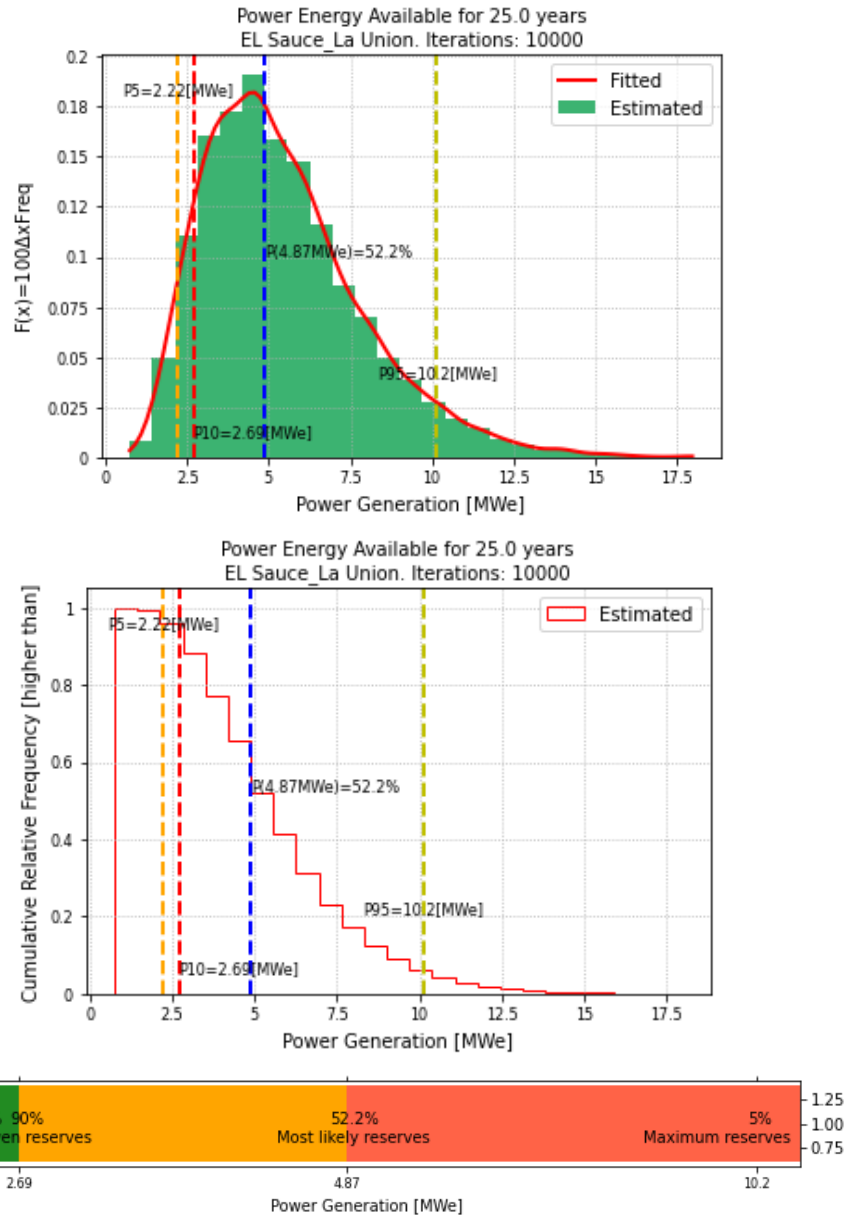


Figura 61: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico El Sauce.

### ➤ Reservorio geotérmico Caluco Sonsonate

Los parámetros geotérmicos para el reservorio Caluco Sonsonate dentro del archivo .csv y los resultados se observan en las siguientes figuras.



#Item	Nombre_Area	Latitud	Longitud	Parametro_Reservorio	Simbolo	Unidad	Minimo	Esperado	Maximo	Media	Derivacion_Estandar	Tipo_distribucion
0	Caluco_Sonsonate	13.733422	-89.647069	Area	A	km2	2	2.25	2.5	0	0	T
1				Espesor	h	m	500	750	1000	0	0	U
2				Volumen	Tr	km3	1	1.75	2.5	0	0	none
3				Temperatura_Reservorio	Tr	oC	100	116	132	0	0	T
4				Temperatura_Final	Ta	oC	90	90	90	0	0	C
5				Porosidad	Phi	%	0.07	0.1	0.15	0	0	T
6				Calor_Especifico_Roca	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0	0	C
7				Calor_Especifico_Fluido	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0	0	C
8				Densidad_Roca	rho_r	kg/m3	2700	2700	2700	0	0	C
9				Densidad_Fluido	rho_f	kg/m3	834	897	959	0	0	T
10				saturation de agua en el reservorio	sat	%	0	1	0	0	0	C
11				Factor_Recuperacion	Rf	%	0.1	0.15	0.25	0	0	T
12				Eficiencia_Conversion	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0	0	C
13				Factor_Potencia	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0	0	C
14				Esperanza_Vida	t	years	25	25	25	0	0	C

Tabla 19: Parámetros del reservorio geotérmico Caluco.

```

+-----+-----+-----+
| name | lat [oC] | lon [oC] |
+-----+-----+-----+
| Caluco_Sonsonate | 13.733 | -89.647 |
+-----+-----+-----+
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Item | Variable | Symbol | Units | Min | Most_Likely | Max | Mean | SD | PDF |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0 | area | A | km2 | 2.0 | 2.25 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | thickness | h | m | 500.0 | 750.0 | 1000.0 | 0.0 | 0.0 | U |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 2 | volume | v | km3 | 1.0 | 1.75 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 3 | reservoir_temp | Tr | oC | 100.0 | 116.0 | 132.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 4 | abandon_temp | Ta | oC | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 5 | porosity | phi | % | 0.07 | 0.1 | 0.15 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 6 | rock_specific_heat | Cr | kJ/kg-oC | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 7 | fluid_specific_heat | Cf | kJ/kg-oC | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 8 | rock_density | rho_r | kg/m3 | 2700.0 | 2700.0 | 2700.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 9 | fluid_density | rho_f | kg/m3 | 834.0 | 897.0 | 959.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 10 | reservoir_steam_density | rho_si | kg/m3 | 0.598 | 0.995 | 1.583 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 11 | Water Saturation | Sw | % | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 12 | reservoir_steam_enthalpy | h_si | kJ/kg | 2675.57 | 2700.06 | 2722.82 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 13 | reservoir_liquid_enthalpy | h_li | kJ/kg | 419.166 | 486.834 | 554.922 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 14 | abandon_liquid_enthalpy | h_lf | kJ/kg | 377.039 | 377.039 | 377.039 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 15 | recovery_factor | RF | % | 0.1 | 0.15 | 0.25 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 16 | conversion_efficiency | Ce | % | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 17 | plant_net_capacity_factor | Pf | % | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 18 | lifespan | t | years | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

Tabla 20: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Caluco.



El resultado del análisis estadístico de la zona según sus percentiles siguiente:

```
MAIN INFORMATION:
Most Likely PowerGeneration [MWe]=2.37627
Probability of 2.37627[MWe]=0.5518
P10% [MWe]=1.48994

STATISTICAL ANALYSIS:
Iterations=10000
Mean=2.64633[MWe]
Median=2.50425[MWe]
Standard Deviation=0.997472[MWe]
Skew=0.788389
Kurt=3.67613
Minimum=0.651622[MWe]
Maximum=7.99564[MWe]
P5%=1.27875[MWe]
P10%=1.48994[MWe]
P15%=1.65762[MWe]
P20%=1.78248[MWe]
P25%=1.90979[MWe]
P30%=2.03178[MWe]
P35%=2.14551[MWe]
P40%=2.26508[MWe]
P45%=2.38011[MWe]
P50%=2.50425[MWe]
P55%=2.62041[MWe]
P60%=2.75379[MWe]
P65%=2.89728[MWe]
P70%=3.05434[MWe]
P75%=3.23604[MWe]
P80%=3.44619[MWe]
P85%=3.67638[MWe]
P90%=4.00863[MWe]
P95%=4.5096[MWe]
```

*Figura 5: Análisis estadístico del recurso geotérmico Caluco.*

La probabilidad de encontrar un potencial mayor del **1.4899 MWe es del 90%** y la expansión máxima del sistema geotérmico en un futuro es de **2.3763 MWe es de 55.18%**. A continuación, se presenta los resultados de forma gráfica:



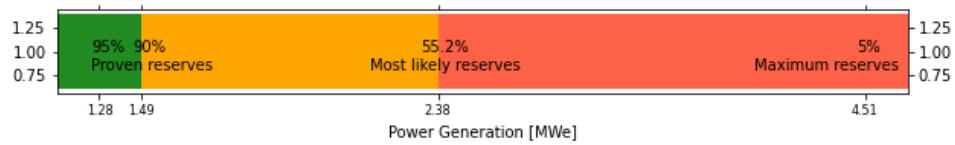
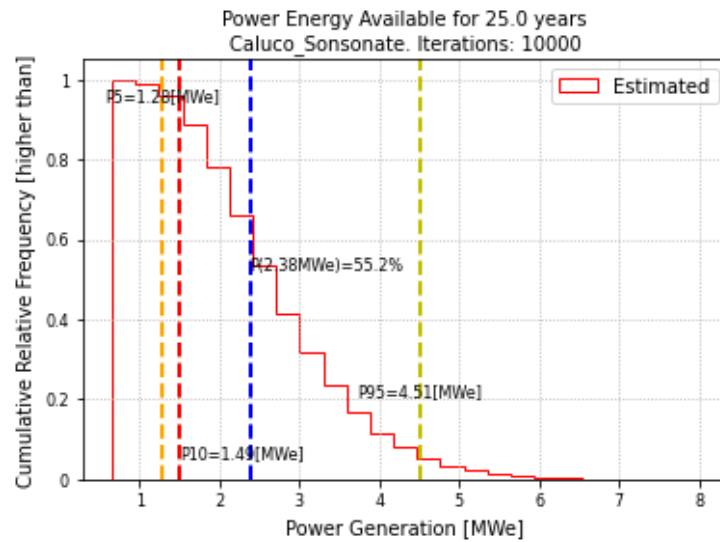
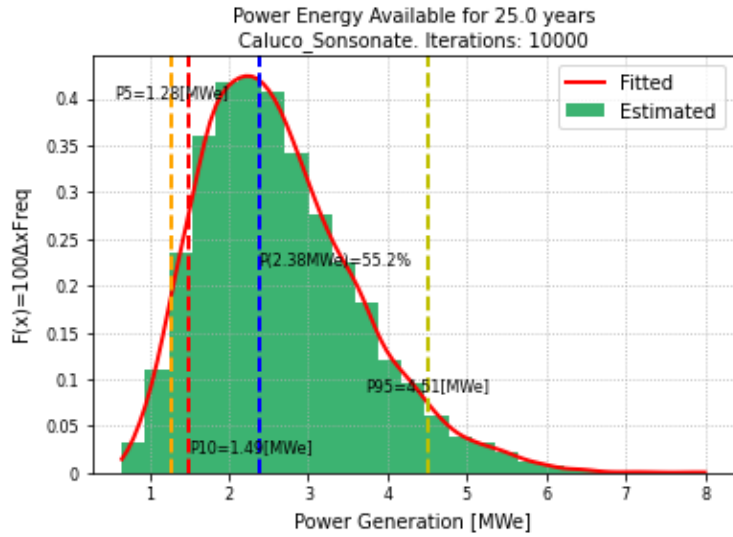


Figura 63: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Caluco.

➤ **Reservorio geotérmico Guija Santa Ana**

Los parámetros geotérmicos para el reservorio Guija Santa Ana dentro del archivo .csv y los resultados se observan en las siguientes figuras.



#Item	Nombre_Area	Latitud	Longitud	Parametro_Reservorio	Simbolo	Unidad	Minimo	Esperado	Maximo	Media	Derivacion_Estandar	Tipo_distribucion
0	Guija_Santa Ana	14.239807	-89.464824	Area	A	km2	2	2.25	2.5	0	0	T
1				Espesor	h	m	500	750	1000	0	0	U
2				Volumen	Tr	km3	1	1.75	2.5	0	0	none
3				Temperatura_Reservorio	Tr	oC	90	110	130	0	0	T
4				Temperatura_Final	Ta	oC	90	90	90	0	0	C
5				Porosidad	Phi	%	0.07	0.1	0.15	0	0	T
6				Calor_Especifico_Roca	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0	0	C
7				Calor_Epecifico_Fluido	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0	0	C
8				Densidad_Roca	rho_r	kg/m3	2700	2700	2700	0	0	C
9				Densidad_Fluido	rho_f	kg/m3	834	897	959	0	0	T
10				saturacion de agua en el reservorio	sat	%	0	1	0	0	0	C
11				Factor_Recuperacion	Rf	%	0.1	0.15	0.25	0	0	T
12				Eficiencia_Conversion	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0	0	C
13				Factor_Potencia	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0	0	C
14				Esperanza_Vida	t	years	25	25	25	0	0	C

Tabla 21: Parámetros del reservorio geotérmico Guija.

```

+-----+-----+-----+
| name | lat [oC] | lon [oC] |
+-----+-----+-----+
| Guija_Santa Ana | 14.24 | -89.465 |
+-----+-----+-----+
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Item | Variable | Symbol | Units | Min | Most_Likely | Max | Mean | SD | PDF |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0 | area | A | km2 | 2.0 | 2.25 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | thickness | h | m | 500.0 | 750.0 | 1000.0 | 0.0 | 0.0 | U |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 2 | volume | v | km3 | 1.0 | 1.75 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 3 | reservoir_temp | Tr | oC | 90.0 | 110.0 | 130.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 4 | abandon_temp | Ta | oC | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 5 | porosity | phi | % | 0.07 | 0.1 | 0.15 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 6 | rock_specific_heat | Cr | kJ/kg-oC | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 7 | fluid_specific_heat | Cf | kJ/kg-oC | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 8 | rock_density | rho_r | kg/m3 | 2700.0 | 2700.0 | 2700.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 9 | fluid_density | rho_f | kg/m3 | 834.0 | 897.0 | 959.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 10 | reservoir_steam_density | rho_si | kg/m3 | 0.424 | 0.827 | 1.497 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 11 | Water Saturation | Sw | % | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 12 | reservoir_steam_enthalpy | h_si | kJ/kg | 2659.53 | 2691.061 | 2720.081 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 13 | reservoir_liquid_enthalpy | h_li | kJ/kg | 377.039 | 461.415 | 546.384 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 14 | abandon_liquid_enthalpy | h_lf | kJ/kg | 377.039 | 377.039 | 377.039 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 15 | recovery_factor | RF | % | 0.1 | 0.15 | 0.25 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 16 | conversion_efficiency | Ce | % | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 17 | plant_net_capacity_factor | Pf | % | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 18 | lifespan | t | years | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

Tabla 22: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Guija.



El resultado del análisis estadístico de la zona según sus percentiles siguiente:

```
MAIN INFORMATION:
Most Likely PowerGeneration [MWe]=1.8279
Probability of 1.8279[MWe]=0.5361
P10% [MWe]=0.808085

STATISTICAL ANALYSIS:
Iterations=10000
Mean=2.04299[MWe]
Median=1.91668[MWe]
Standard Deviation=1.03877[MWe]
Skew=0.710281
Kurt=3.52694
Minimum=0.00966025[MWe]
Maximum=6.88704[MWe]
P5%=0.564575[MWe]
P10%=0.808085[MWe]
P15%=0.989991[MWe]
P20%=1.14697[MWe]
P25%=1.27822[MWe]
P30%=1.41724[MWe]
P35%=1.54307[MWe]
P40%=1.66663[MWe]
P45%=1.79446[MWe]
P50%=1.91668[MWe]
P55%=2.04009[MWe]
P60%=2.1718[MWe]
P65%=2.32089[MWe]
P70%=2.48196[MWe]
P75%=2.6625[MWe]
P80%=2.87577[MWe]
P85%=3.13349[MWe]
P90%=3.45084[MWe]
P95%=3.94375[MWe]
```

*Figura 64: Análisis estadístico del recurso geotérmico Guija.*

La probabilidad de encontrar un potencial mayor del **0.8081 MWe es del 90%** y la expansión máxima del sistema geotérmico en un futuro es de **1.8279 MWe es de 53.61%**. A continuación, se presenta los resultados de forma gráfica:



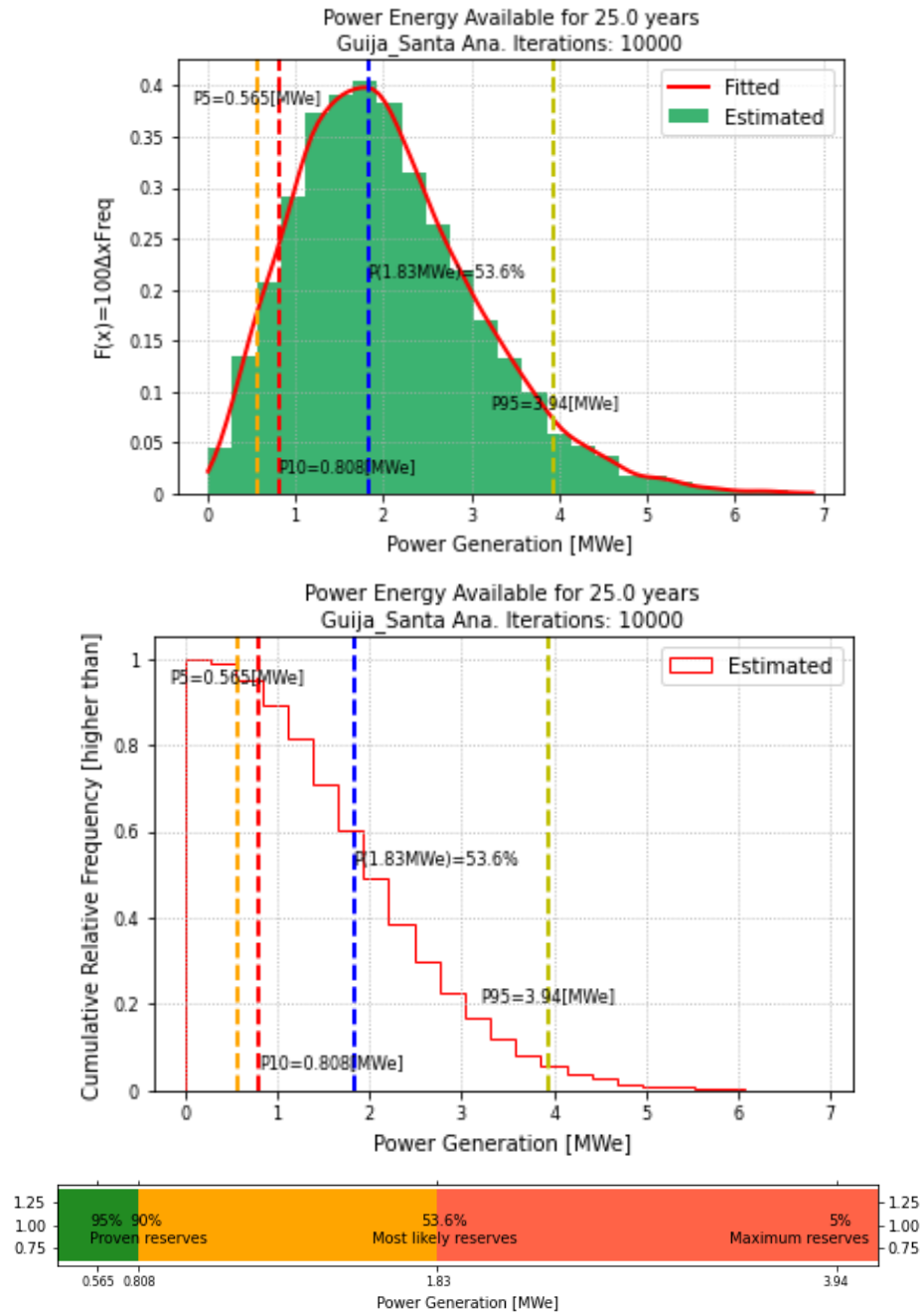


Figura 65: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Guija.

### ➤ Reservorio geotérmico Agua Caliente La Libertad

Los parámetros geotérmicos para el reservorio Agua Caliente La Libertad dentro del archivo .csv y los resultados se observan en las siguientes figuras.





#Item	Nombre_Area	Latitud	Longitud	Parametro_Reservorio	Simbolo	Unidad	Minimo	Esperado	Maximo	Media	Derivacion_Estandar	Tipo_distribucion
0	Agua Caliente_La Libertad	13.815217	-89.448183	Area	A	km2	2	2.25	2.5	0	0	T
1				Espesor	h	m	500	750	1000	0	0	U
2				Volumen	Tr	km3	1	1.75	2.5	0	0	none
3				Temperatura_Reservorio	Tr	oC	120	130	140	0	0	T
4				Temperatura_Final	Ta	oC	90	90	90	0	0	C
5				Porosidad	Phi	%	0.07	0.1	0.15	0	0	T
6				Calor_Especifico_Roca	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0	0	C
7				Calor_Especifico_Fluido	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0	0	C
8				Densidad_Roca	rho_r	kg/m3	2700	2700	2700	0	0	C
9				Densidad_Fluido	rho_f	kg/m3	834	897	959	0	0	T
10				saturacion de agua en el reservorio	sat	%	0	1	0	0	0	C
11				Factor_Recuperacion	Rf	%	0.1	0.15	0.25	0	0	T
12				Eficiencia_Conversion	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0	0	C
13				Factor_Potencia	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0	0	C
14				Esperanza_Vida	t	years	25	25	25	0	0	C

Tabla 23: Parámetros del reservorio geotérmico Agua Caliente.

```

+-----+-----+-----+
| name | lat [oC] | lon [oC] |
+-----+-----+-----+
| Agua Caliente_La Libertad | 13.815 | -89.448 |
+-----+-----+-----+

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Item | Variable | Symbol | Units | Min | Most_Likely | Max | Mean | SD | PDF |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0 | area | A | km2 | 2.0 | 2.25 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | thickness | h | m | 500.0 | 750.0 | 1000.0 | 0.0 | 0.0 | U |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 2 | volume | v | km3 | 1.0 | 1.75 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 3 | reservoir_temp | Tr | oC | 120.0 | 130.0 | 140.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 4 | abandon_temp | Ta | oC | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 5 | porosity | phi | % | 0.07 | 0.1 | 0.15 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 6 | rock_specific_heat | Cr | kJ/kg-oC | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 7 | fluid_specific_heat | Cf | kJ/kg-oC | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 8 | rock_density | rho_r | kg/m3 | 2700.0 | 2700.0 | 2700.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 9 | fluid_density | rho_f | kg/m3 | 834.0 | 897.0 | 959.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 10 | reservoir_steam_density | rho_si | kg/m3 | 1.122 | 1.497 | 1.967 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 11 | Water Saturation | Sw | % | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 12 | reservoir_steam_enthalpy | h_si | kJ/kg | 2705.926 | 2720.081 | 2733.443 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 13 | reservoir_liquid_enthalpy | h_li | kJ/kg | 503.812 | 546.384 | 589.162 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 14 | abandon_liquid_enthalpy | h_lf | kJ/kg | 377.039 | 377.039 | 377.039 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 15 | recovery_factor | RF | % | 0.1 | 0.15 | 0.25 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 16 | conversion_efficiency | Ce | % | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 17 | plant_net_capacity_factor | Pf | % | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 18 | lifespan | t | years | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

Tabla 24: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Agua Caliente.



El resultado del análisis estadístico de la zona según sus percentiles siguiente:

```
MAIN INFORMATION:
Most Likely PowerGeneration [MWe]=3.6558
Probability of 3.6558[MWe]=0.5959
P10% [MWe]=2.63647

STATISTICAL ANALYSIS:
Iterations=10000
Mean=4.07398[MWe]
Median=3.93829[MWe]
Standard Deviation=1.19093[MWe]
Skew=0.605726
Kurt=3.22109
Minimum=1.37844[MWe]
Maximum=9.10818[MWe]
P5%=2.36599[MWe]
P10%=2.63647[MWe]
P15%=2.83675[MWe]
P20%=3.02511[MWe]
P25%=3.19229[MWe]
P30%=3.35218[MWe]
P35%=3.49853[MWe]
P40%=3.6429[MWe]
P45%=3.7958[MWe]
P50%=3.93829[MWe]
P55%=4.08714[MWe]
P60%=4.24698[MWe]
P65%=4.41325[MWe]
P70%=4.60579[MWe]
P75%=4.82275[MWe]
P80%=5.04997[MWe]
P85%=5.33579[MWe]
P90%=5.70088[MWe]
P95%=6.24341[MWe]
```

*Figura 66: Análisis estadístico del recurso geotérmico Agua Caliente.*

La probabilidad de encontrar un potencial mayor del **2.6365 MWe es del 90%** y la expansión máxima del sistema geotérmico en un futuro es de **3.656 MWe es de 59.59%**. A continuación, se presenta los resultados de forma gráfica



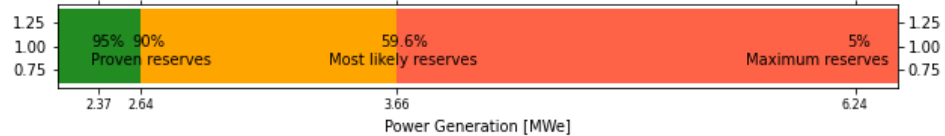
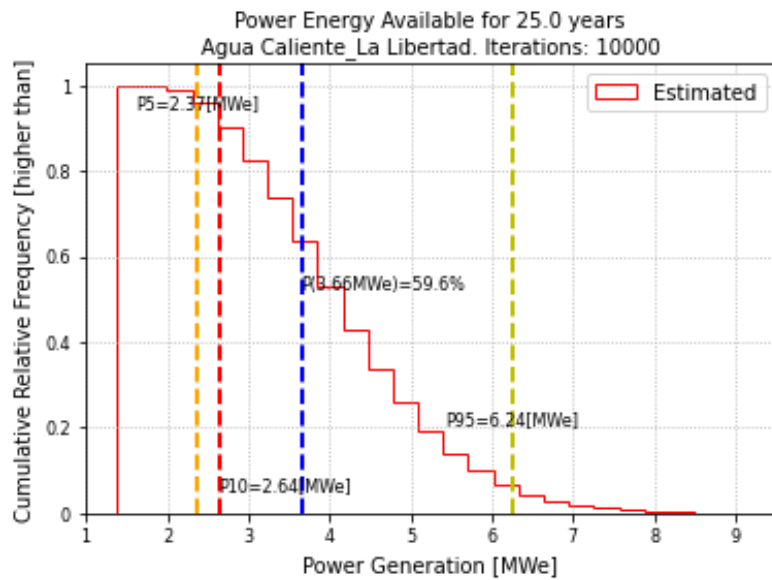
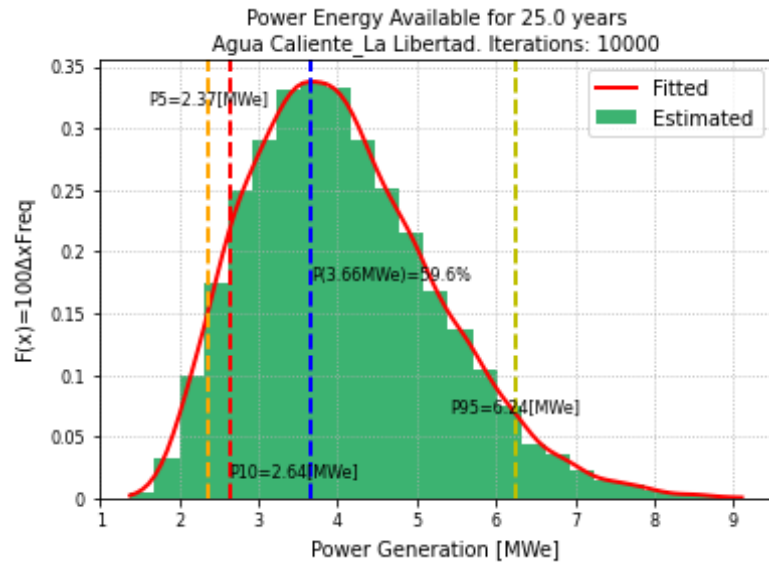


Figura 67: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Agua Caliente.

➤ **Reservorio geotérmico Obrajuelo Lempa**

Los parámetros geotérmicos para el reservorio Obrajuelo dentro del archivo .csv y los resultados se observan en las siguientes figuras.



#Item	Nombre_Area	Latitud	Longitud	Parametro_Reservorio	Simbolo	Unidad	Minimo	Esperado	Maximo	Media	Derivacion_Estandar	Tipo_distribucion
0	Obrajuelo-Lempa	13.59747	-88.587188	Area	A	km2	7	11	15	0	0	T
1				Espesor	h	m	500	700	1000	0	0	U
2				Volumen	Tr	km3	1	5	40	0	0	none
3				Temperatura_Reservorio	Tr	oC	132	166	200	0	0	T
4				Temperatura_Final	Ta	oC	90	90	90	0	0	C
5				Porosidad	Phi	%	0.07	0.1	0.15	0	0	T
6				Calor_Especifico_Roca	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0	0	C
7				Calor_Epecifico_Fluido	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0	0	C
8				Densidad_Roca	rho_r	kg/m3	2700	2700	2700	0	0	C
9				Densidad_Fluido	rho_f	kg/m3	865	897	943	0	0	T
10				saturacion de agua en el reservorio	sat	%	0	1	0	0	0	C
11				Factor_Recuperacion	Rf	%	0.1	0.15	0.25	0	0	T
12				Eficiencia_Conversion	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0	0	C
13				Factor_Potencia	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0	0	C
14				Esperanza_Vida	t	years	25	25	25	0	0	C

Tabla 25: Parámetros del reservorio geotérmico Obrajuelo Lempa

```

+-----+-----+-----+-----+
| name | lat [oC] | lon [oC] |
+-----+-----+-----+
| Obrajuelo-Lempa | 13.597 | -88.587 |
+-----+-----+-----+

```

Item	Variable	Symbol	Units	Min	Most_Likely	Max	Mean	SD	PDF
0	area	A	km2	7.0	11.0	15.0	0.0	0.0	T
1	thickness	h	m	500.0	700.0	1000.0	0.0	0.0	U
2	volume	v	km3	1.0	5.0	40.0	0.0	0.0	
3	reservoir_temp	Tr	oC	132.0	166.0	200.0	0.0	0.0	T
4	abandon_temp	Ta	oC	90.0	90.0	90.0	0.0	0.0	C
5	porosity	phi	%	0.07	0.1	0.15	0.0	0.0	T
6	rock_specific_heat	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0.0	0.0	C
7	fluid_specific_heat	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0.0	0.0	C
8	rock_density	rho_r	kg/m3	2700.0	2700.0	2700.0	0.0	0.0	C
9	fluid_density	rho_f	kg/m3	865.0	897.0	943.0	0.0	0.0	T
10	reservoir_steam_density	rho_si	kg/m3	1.583	3.758	7.861	1.0	1.0	C
11	Water Saturation	Sw	%	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	C
12	reservoir_steam_enthalpy	h_si	kJ/kg	2722.82	2763.85	2792.007	1.0	1.0	C
13	reservoir_liquid_enthalpy	h_li	kJ/kg	554.922	701.599	852.271	1.0	1.0	C
14	abandon_liquid_enthalpy	h_lf	kJ/kg	377.039	377.039	377.039	1.0	1.0	C
15	recovery_factor	RF	%	0.1	0.15	0.25	0.0	0.0	T
16	conversion_efficiency	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	C
17	plant_net_capacity_factor	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0.0	0.0	C
18	lifespan	t	years	25.0	25.0	25.0	0.0	0.0	C

Tabla 26: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Obrajuelo-Lempa.



El resultado del análisis estadístico de la zona según sus percentiles siguiente:

```
MAIN INFORMATION:
Most Likely PowerGeneration [MWe]=31.6944
Probability of 31.6944[MWe]=0.6241
P10% [MWe]=22.0906

STATISTICAL ANALYSIS:
Iterations=10000
Mean=37.9243[MWe]
Median=35.652[MWe]
Standard Deviation=14.0028[MWe]
Skew=0.890276
Kurt=3.98513
Minimum=9.33374[MWe]
Maximum=112.502[MWe]
P5%=19.2596[MWe]
P10%=22.0906[MWe]
P15%=24.0707[MWe]
P20%=25.9011[MWe]
P25%=27.5507[MWe]
P30%=29.246[MWe]
P35%=30.8394[MWe]
P40%=32.4981[MWe]
P45%=34.025[MWe]
P50%=35.652[MWe]
P55%=37.3781[MWe]
P60%=39.3313[MWe]
P65%=41.2802[MWe]
P70%=43.3673[MWe]
P75%=45.9973[MWe]
P80%=48.8174[MWe]
P85%=52.3811[MWe]
P90%=56.7748[MWe]
P95%=64.3541[MWe]
```

*Figura 68: Análisis estadístico del recurso geotérmico Obrajuelo-Lempa.*

La probabilidad de encontrar un potencial mayor del **22.0906 MWe es del 90%** y la expansión máxima del sistema geotérmico en un futuro es de **31.6944 MWe es de 62.41%**. A continuación, se presenta los resultados de forma gráfica:



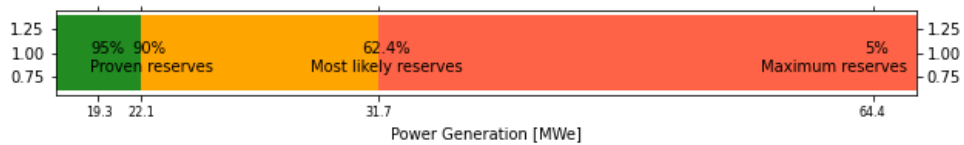
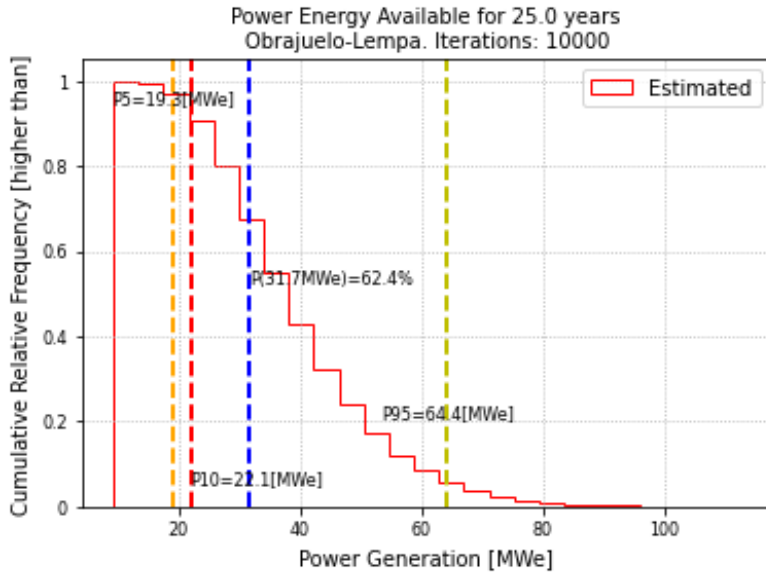
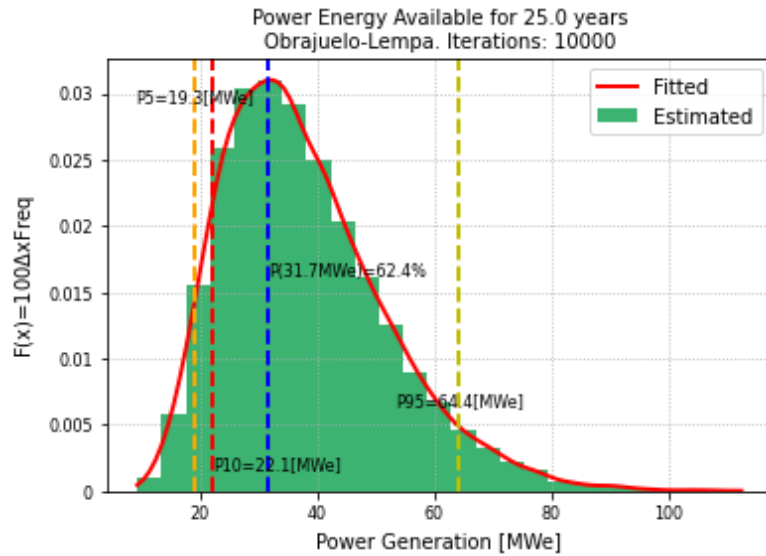


Figura 69: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Obrajuelo-Lempa.

### ➤ Reservorio geotérmico Conchagua La Unión

Los parámetros geotérmicos para el reservorio Conchagua dentro del archivo .csv y los resultados se observan en las siguientes figuras.



#Item	Nombre_Area	Latitud	Longitud	Parametro_Reservorio	Simbolo	Unidad	Minimo	Esperado	Maximo	Media	Derivacion_Estandar	Tipo_distribucion
0	Conchagua_La Union	13.480198	-88.333933	Area	A	km2	9	12	15	0	0	T
1				Espesor	h	m	500	950	1400	0	0	U
2				Volumen	Tr	km3	4.5	11.4	21	0	0	none
3				Temperatura_Reservorio	Tr	oC	180	210	250	0	0	T
4				Temperatura_Final	Ta	oC	90	90	90	0	0	C
5				Porosidad	Phi	%	0.07	0.1	0.15	0	0	T
6				Calor_Especifico_Roca	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0	0	C
7				Calor_Especifico_Fluido	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0	0	C
8				Densidad_Roca	rho_r	kg/m3	2700	2700	2700	0	0	C
9				Densidad_Fluido	rho_f	kg/m3	799	865	887	0	0	C
10				saturacion de agua en el reservorio	sat	%	0	1	0	0	0	C
11				Factor_Recuperacion	Rf	%	0.1	0.15	0.25	0	0	T
12				Eficiencia_Conversion	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0	0	C
13				Factor_Potencia	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0	0	C
14				Esperanza_Vida	t	years	25	25	25	0	0	C

Tabla 27: Parámetros del reservorio geotérmico Conchagua

```

+-----+-----+
| name | lat [oC] | lon [oC] |
+-----+-----+
| Conchagua_La Union | 13.48 | -88.334 |
+-----+-----+

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Item | Variable | Symbol | Units | Min | Most_Likely | Max | Mean | SD | PDF |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0 | area | A | km2 | 9.0 | 12.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | thickness | h | m | 500.0 | 950.0 | 1400.0 | 0.0 | 0.0 | U |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 2 | volume | v | km3 | 4.5 | 11.4 | 21.0 | 0.0 | 0.0 | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 3 | reservoir_temp | Tr | oC | 180.0 | 210.0 | 250.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 4 | abandon_temp | Ta | oC | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 5 | porosity | phi | % | 0.07 | 0.1 | 0.15 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 6 | rock_specific_heat | Cr | kJ/kg-oC | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 7 | fluid_specific_heat | Cf | kJ/kg-oC | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 8 | rock_density | rho_r | kg/m3 | 2700.0 | 2700.0 | 2700.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 9 | fluid_density | rho_f | kg/m3 | 799.0 | 865.0 | 887.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 10 | reservoir_steam_density | rho_si | kg/m3 | 5.159 | 9.588 | 19.967 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 11 | Water Saturation | Sw | % | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 12 | reservoir_steam_enthalpy | h_si | kJ/kg | 2777.215 | 2797.27 | 2800.933 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 13 | reservoir_liquid_enthalpy | h_li | kJ/kg | 763.054 | 897.631 | 1085.767 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 14 | abandon_liquid_enthalpy | h_lf | kJ/kg | 377.039 | 377.039 | 377.039 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 15 | recovery_factor | RF | % | 0.1 | 0.15 | 0.25 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 16 | conversion_efficiency | Ce | % | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 17 | plant_net_capacity_factor | Pf | % | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 18 | lifespan | t | years | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

Tabla 28: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Conchagua.



El resultado del análisis estadístico de la zona según sus percentiles siguiente:

MAIN INFORMATION:  
Most Likely PowerGeneration [MWe]=73.7025  
Probability of 73.7025[MWe]=0.5755  
P10% [MWe]=46.7211

STATISTICAL ANALYSIS:  
Iterations=10000  
Mean=84.3314[MWe]  
Median=80.1382[MWe]  
Standard Deviation=31.6916[MWe]  
Skew=0.684597  
Kurt=3.22917  
Minimum=21.2119[MWe]  
Maximum=222.64[MWe]  
P5%=40.9474[MWe]  
P10%=46.7211[MWe]  
P15%=51.493[MWe]  
P20%=55.8988[MWe]  
P25%=60.1775[MWe]  
P30%=64.2689[MWe]  
P35%=68.1394[MWe]  
P40%=71.7856[MWe]  
P45%=75.8778[MWe]  
P50%=80.1382[MWe]  
P55%=84.0168[MWe]  
P60%=88.4797[MWe]  
P65%=93.1847[MWe]  
P70%=98.3842[MWe]  
P75%=104.023[MWe]  
P80%=110.687[MWe]  
P85%=118.675[MWe]  
P90%=128.729[MWe]  
P95%=142.729[MWe]

*Figura 70: Análisis estadístico del recurso geotérmico Conchagua.*

La probabilidad de encontrar un potencial mayor del **46.7211 MWe es del 90%** y la expansión máxima del sistema geotérmico en un futuro es de **73.7025 MWe es de 57.55%**. A continuación, se presenta los resultados de forma gráfica:





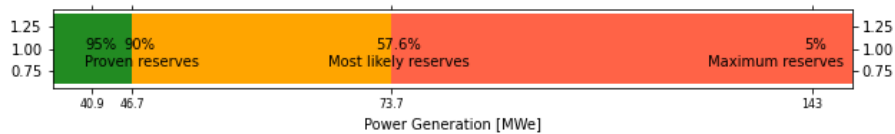
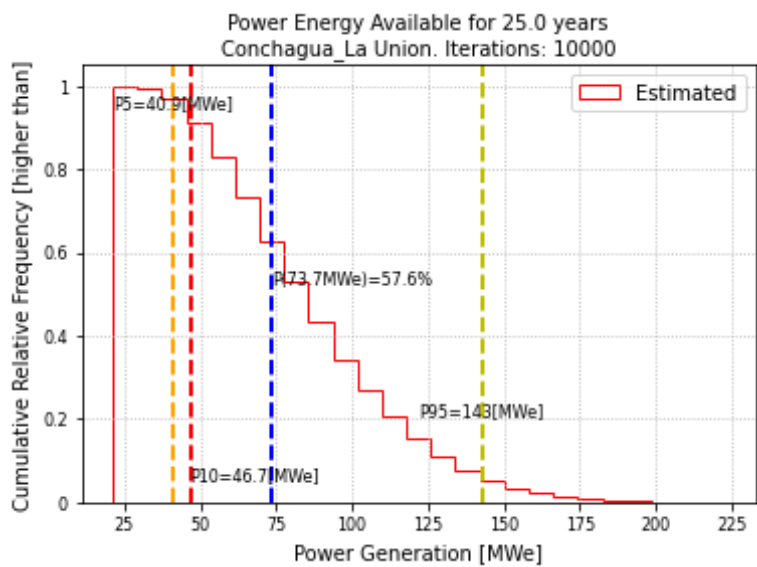
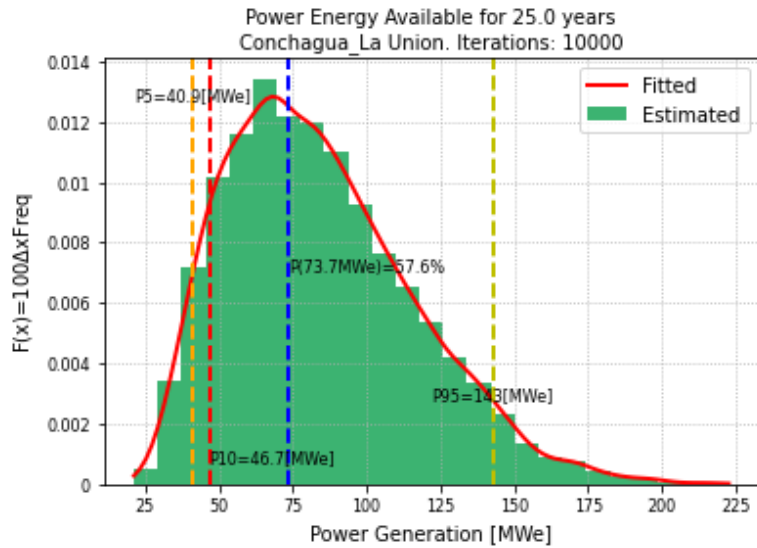


Figura 71: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Conchagua.

➤ **Reservorio geotérmico Coatepeque Santa Ana**

Los parámetros geotérmicos para el reservorio Coatepeque dentro del archivo .csv y los resultados se observan en las siguientes figuras.



#Item	Nombre_Area	Latitud	Longitud	Parametro_Reservorio	Simbolo	Unidad	Minimo	Esperado	Maximo	Media	Derivacion_Estandar	Tipo_distribucion
0	Coatepeque_Santa Ana	13.844217	-89.571558	Area	A	km2	5	7	10	0	0	T
1				Espesor	h	m	500	1000	2000	0	0	U
2				Volumen	Tr	km3	2.5	7	20	0	0	none
3				Temperatura_Reservorio	Tr	oC	200	234	268	0	0	T
4				Temperatura_Final	Ta	oC	90	90	90	0	0	C
5				Porosidad	Phi	%	0.07	0.1	0.15	0	0	T
6				Calor_Especifico_Roca	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0	0	C
7				Calor_Epecifico_Fluido	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0	0	C
8				Densidad_Roca	rho_r	kg/m3	2700	2700	2700	0	0	C
9				Densidad_Fluido	rho_f	kg/m3	827	917	917	0	0	T
10				saturacion de agua en el reservorio	sat	%	0	1	0	0	0	C
11				Factor_Recuperacion	Rf	%	0.1	0.15	0.25	0	0	T
12				Eficiencia_Conversion	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0	0	C
13				Factor_Potencia	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0	0	C
14				Esperanza_Vida	t	years	25	25	25	0	0	C

Tabla 29: Parámetros del reservorio geotérmico Coatepeque.

```

+-----+-----+-----+
| name | lat [oC] | lon [oC] |
+-----+-----+-----+
| Coatepeque_Santa Ana | 13.844 | -89.572 |
+-----+-----+-----+
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Item | Variable | Symbol | Units | Min | Most_Likely | Max | Mean | SD | PDF |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0 | area | A | km2 | 5.0 | 7.0 | 10.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | thickness | h | m | 500.0 | 1000.0 | 2000.0 | 0.0 | 0.0 | U |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 2 | volume | v | km3 | 2.5 | 7.0 | 20.0 | 0.0 | 0.0 | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 3 | reservoir_temp | Tr | oC | 200.0 | 234.0 | 268.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 4 | abandon_temp | Ta | oC | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 5 | porosity | phi | % | 0.07 | 0.1 | 0.15 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 6 | rock_specific_heat | Cr | kJ/kg-oC | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 7 | fluid_specific_heat | Cf | kJ/kg-oC | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 8 | rock_density | rho_r | kg/m3 | 2700.0 | 2700.0 | 2700.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 9 | fluid_density | rho_f | kg/m3 | 827.0 | 917.0 | 917.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 10 | reservoir_steam_density | rho_si | kg/m3 | 7.861 | 15.04 | 27.147 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 11 | Water Saturation | Sw | % | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 12 | reservoir_steam_enthalpy | h_si | kJ/kg | 2792.007 | 2803.157 | 2791.297 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 13 | reservoir_liquid_enthalpy | h_li | kJ/kg | 852.271 | 1009.039 | 1175.11 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 14 | abandon_liquid_enthalpy | h_lf | kJ/kg | 377.039 | 377.039 | 377.039 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 15 | recovery_factor | RF | % | 0.1 | 0.15 | 0.25 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 16 | conversion_efficiency | Ce | % | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 17 | plant_net_capacity_factor | Pf | % | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 18 | lifespan | t | years | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

Tabla 30: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Coatepeque.

El resultado del análisis estadístico de la zona según sus percentiles siguiente:



MAIN INFORMATION:  
Most Likely PowerGeneration [MWe]=54.7722  
Probability of 54.7722[MWe]=0.72  
P10% [MWe]=38.2145

STATISTICAL ANALYSIS:  
Iterations=10000  
Mean=79.5564[MWe]  
Median=75.1587[MWe]  
Standard Deviation=34.8999[MWe]  
Skew=0.71062  
Kurt=3.29454  
Minimum=15.0104[MWe]  
Maximum=234.695[MWe]  
P5%=32.1557[MWe]  
P10%=38.2145[MWe]  
P15%=42.8828[MWe]  
P20%=47.4548[MWe]  
P25%=51.8145[MWe]  
P30%=56.6727[MWe]  
P35%=61.0569[MWe]  
P40%=65.7062[MWe]  
P45%=70.4139[MWe]  
P50%=75.1587[MWe]  
P55%=79.7898[MWe]  
P60%=84.8257[MWe]  
P65%=89.7554[MWe]  
P70%=95.38[MWe]  
P75%=101.593[MWe]  
P80%=108.568[MWe]  
P85%=117.031[MWe]  
P90%=126.963[MWe]  
P95%=142.818[MWe]

*Figura 6: Análisis estadístico del recurso geotérmico Coatepeque.*

La probabilidad de encontrar un potencial mayor del **38.2145 MWe es del 90%** y la expansión máxima del sistema geotérmico en un futuro es de **54.7722 MWe es de 72%**.

A continuación, se presenta los resultados de forma gráfica:



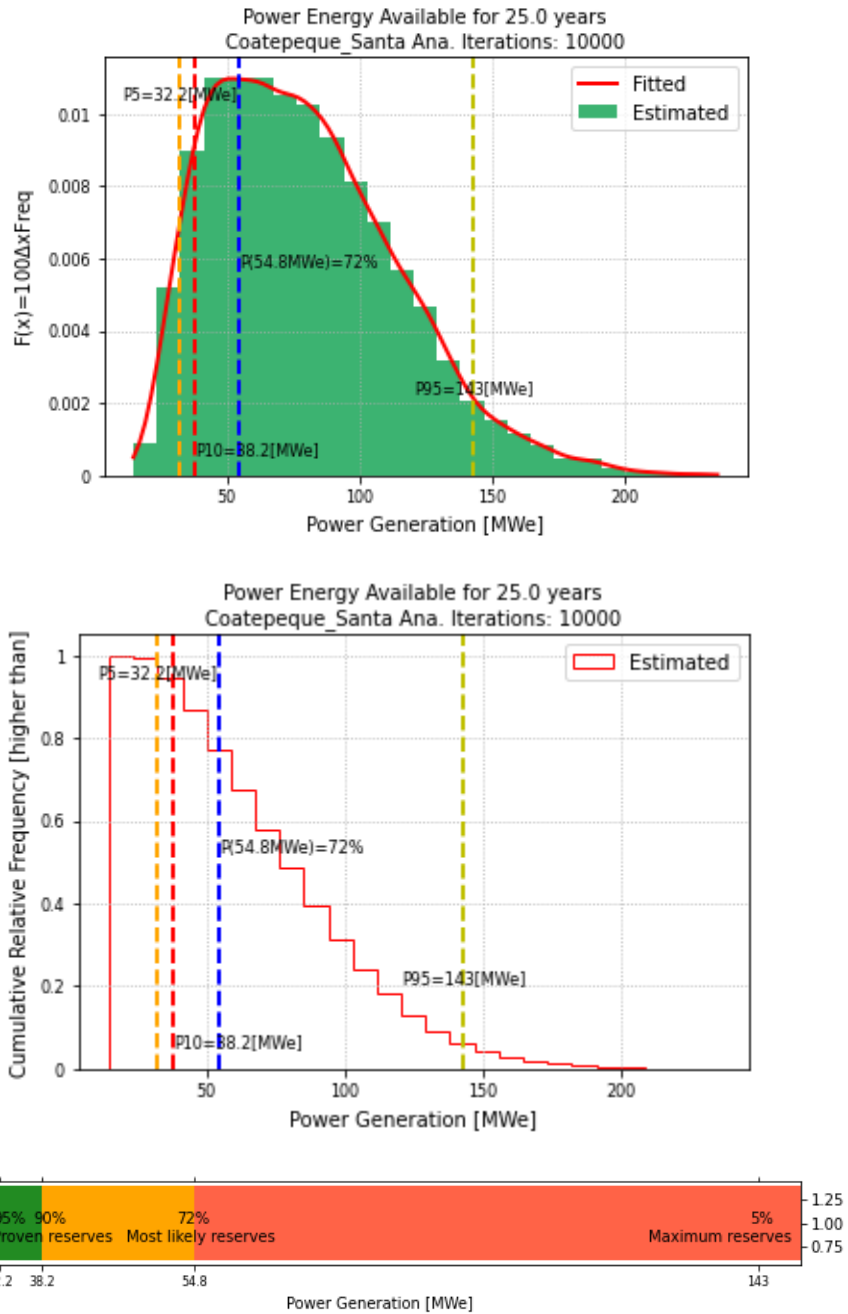


Figura 7: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Coatepeque.

### ➤ Reservorio geotérmico Chilanguera San Miguel

Los parámetros geotérmicos para el reservorio Chilanguera dentro del archivo .csv y los resultados se observan en las siguientes figuras.



#Item	Nombre_Area	Latitud	Longitud	Parametro_Reservorio	Simbolo	Unidad	Minimo	Esperado	Maximo	Media	Derivacion_Estandar	Tipo_distribucion
0	Chilanguera_San Miguel	13.499691	-88.349519	Area	A	km2	5	9	12	0	0	T
1				Espesor	h	m	500	800	1100	0	0	U
2				Volumen	Tr	km3	2.5	7.2	13.2	0	0	none
3				Temperatura_Reservorio	Tr	oC	137	181	225	0	0	T
4				Temperatura_Final	Ta	oC	90	90	90	0	0	C
5				Prosidad	Phi	%	0.07	0.1	0.15	0	0	T
6				Calor_Especifico_Roca	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0	0	C
7				Calor_Epecifico_Fluido	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0	0	C
8				Densidad_Roca	rho_r	kg/m3	2700	2700	2700	0	0	C
9				Densidad_Fluido	rho_f	kg/m3	834	897	959	0	0	T
10				saturacion de agua en el reservorio	sat	%	0	1	0	0	0	C
11				Factor_Recuperacion	Rf	%	0.1	0.15	0.25	0	0	T
12				Eficiencia_Conversion	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0	0	C
13				Factor_Potencia	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0	0	C
14				Esperanza_Vida	t	years	25	25	25	0	0	C

Tabla 31: Parámetros del reservorio geotérmico Chilanguera.

```

+-----+-----+-----+
| name | lat [oC] | lon [oC] |
+-----+-----+-----+
| Chilanguera_San Miguel | 13.5 | -88.35 |
+-----+-----+-----+

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Item | Variable | Symbol | Units | Min | Most_Likely | Max | Mean | SD | PDF |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0 | area | A | km2 | 5.0 | 9.0 | 12.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | thickness | h | m | 500.0 | 800.0 | 1100.0 | 0.0 | 0.0 | U |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 2 | volume | v | km3 | 2.5 | 7.2 | 13.2 | 0.0 | 0.0 | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 3 | reservoir_temp | Tr | oC | 137.0 | 181.0 | 225.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 4 | abandon_temp | Ta | oC | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 5 | porosity | phi | % | 0.07 | 0.1 | 0.15 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 6 | rock_specific_heat | Cr | kJ/kg-oC | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 7 | fluid_specific_heat | Cf | kJ/kg-oC | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 8 | rock_density | rho_r | kg/m3 | 2700.0 | 2700.0 | 2700.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 9 | fluid_density | rho_f | kg/m3 | 834.0 | 897.0 | 959.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 10 | reservoir_steam_density | rho_si | kg/m3 | 1.815 | 5.273 | 12.755 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 11 | Water Saturation | Sw | % | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 12 | reservoir_steam_enthalpy | h_si | kJ/kg | 2729.523 | 2778.079 | 2802.147 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 13 | reservoir_liquid_enthalpy | h_li | kJ/kg | 576.305 | 767.472 | 966.796 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 14 | abandon_liquid_enthalpy | h_lf | kJ/kg | 377.039 | 377.039 | 377.039 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 15 | recovery_factor | RF | % | 0.1 | 0.15 | 0.25 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 16 | conversion_efficiency | Ce | % | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 17 | plant_net_capacity_factor | Pf | % | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 18 | lifespan | t | years | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

Tabla 32: Parámetros de entrada mostrados por gpeeval para el recurso geotérmico Chilanguera.



El resultado del análisis estadístico de la zona según sus percentiles siguiente:

```
MAIN INFORMATION:
Most Likely PowerGeneration [MWe]=35.4856
Probability of 35.4856[MWe]=0.5046
P10% [MWe]=20.8358

STATISTICAL ANALYSIS:
Iterations=10000
Mean=38.1528[MWe]
Median=35.6353[MWe]
Standard Deviation=15.2619[MWe]
Skew=0.921943
Kurt=4.14027
Minimum=6.95163[MWe]
Maximum=126.221[MWe]
P5%=18.079[MWe]
P10%=20.8358[MWe]
P15%=23.1101[MWe]
P20%=25.072[MWe]
P25%=26.9046[MWe]
P30%=28.6028[MWe]
P35%=30.362[MWe]
P40%=32.2015[MWe]
P45%=33.8654[MWe]
P50%=35.6353[MWe]
P55%=37.4505[MWe]
P60%=39.4052[MWe]
P65%=41.6001[MWe]
P70%=44.0729[MWe]
P75%=46.9926[MWe]
P80%=50.2066[MWe]
P85%=53.8429[MWe]
P90%=59.1487[MWe]
P95%=66.6591[MWe]
```

*Figura 74: Análisis estadístico del recurso geotérmico Chilanguera.*

La probabilidad de encontrar un potencial mayor del **20.8358 MWe es del 90%** y la expansión máxima del sistema geotérmico en un futuro es de **35.4856 MWe es de 50.46%**. A continuación, se presenta los resultados de forma gráfica:



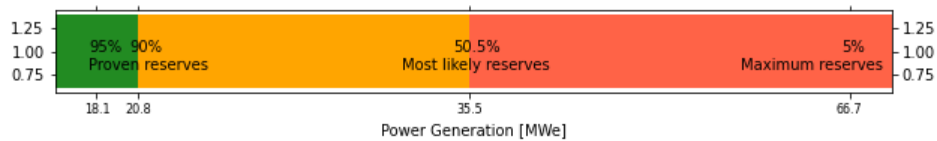
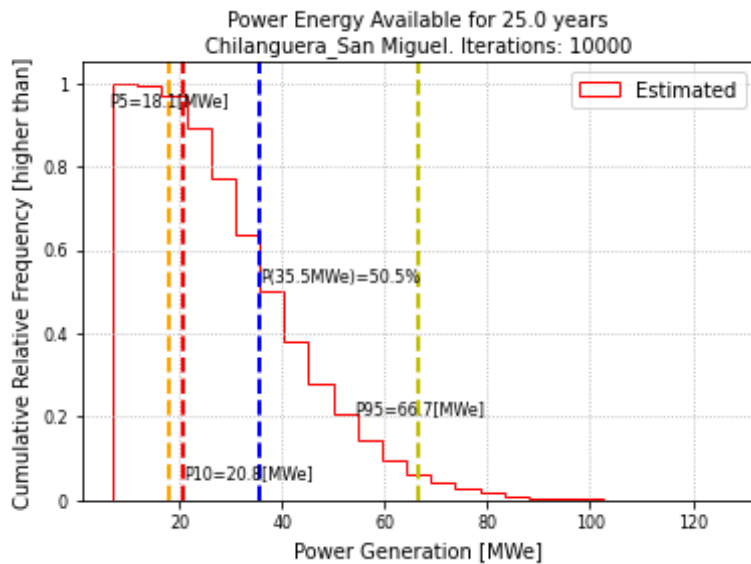
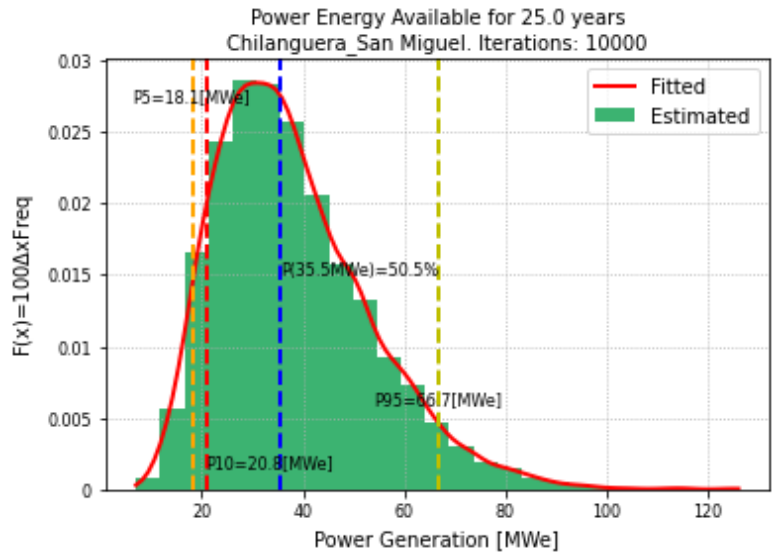


Figura 74: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Chilanguera.

### ➤ Reservorio geotérmico Texistepeque Santa Ana

Los parámetros geotérmicos para el reservorio Texistepeque dentro del archivo .csv y los resultados se observan en las siguientes figuras.



#Item	Nombre_Area	Latitud	Longitud	Parametro_Reservorio	Simbolo	Unidad	Minimo	Esperado	Maximo	Media	Derivacion_Estandar	Tipo_distribucion
0	Texistepeque_Santa Ana	14.086444	-89.457417	Area	A	km2	2	2.25	2.5	0	0	T
1				Espesor	h	m	500	750	1000	0	0	U
2				Volumen	Tr	km3	1	1.75	2.5	0	0	none
3				Temperatura_Reservorio	Tr	oC	90	105	120	0	0	T
4				Temperatura_Final	Ta	oC	90	90	90	0	0	C
5				Porosidad	Phi	%	0.07	0.1	0.15	0	0	T
6				Calor_Especifico_Roca	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0	0	C
7				Calor_Especifico_Fluido	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0	0	C
8				Densidad_Roca	rho_r	kg/m3	2700	2700	2700	0	0	C
9				Densidad_Fluido	rho_f	kg/m3	834	897	959	0	0	T
10				saturacion de agua en el reservorio	sat	%	0	1	0	0	0	C
11				Factor_Recuperacion	Rf	%	0.1	0.15	0.25	0	0	T
12				Eficiencia_Conversion	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0	0	C
13				Factor_Potencia	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0	0	C
14				Esperanza_Vida	t	years	25	25	25	0	0	C

Tabla 33: Parámetros del reservorio geotérmico Texistepeque.

```

+-----+-----+-----+
| name | lat [oC] | lon [oC] |
+-----+-----+-----+
| Texistepeque_Santa Ana | 14.086 | -89.457 |
+-----+-----+-----+
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Item | Variable | Symbol | Units | Min | Most_Likely | Max | Mean | SD | PDF |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0 | area | A | km2 | 2.0 | 2.25 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | thickness | h | m | 500.0 | 750.0 | 1000.0 | 0.0 | 0.0 | U |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 2 | volume | v | km3 | 1.0 | 1.75 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 3 | reservoir_temp | Tr | oC | 90.0 | 105.0 | 120.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 4 | abandon_temp | Ta | oC | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 5 | porosity | phi | % | 0.07 | 0.1 | 0.15 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 6 | rock_specific_heat | Cr | kJ/kg-oC | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 7 | fluid_specific_heat | Cf | kJ/kg-oC | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 8 | rock_density | rho_r | kg/m3 | 2700.0 | 2700.0 | 2700.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 9 | fluid_density | rho_f | kg/m3 | 834.0 | 897.0 | 959.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 10 | reservoir_steam_density | rho_si | kg/m3 | 0.424 | 0.705 | 1.122 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 11 | Water Saturation | Sw | % | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 12 | reservoir_steam_enthalpy | h_si | kJ/kg | 2659.53 | 2683.389 | 2705.926 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 13 | reservoir_liquid_enthalpy | h_li | kJ/kg | 377.039 | 440.274 | 503.812 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 14 | abandon_liquid_enthalpy | h_lf | kJ/kg | 377.039 | 377.039 | 377.039 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 15 | recovery_factor | RF | % | 0.1 | 0.15 | 0.25 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 16 | conversion_efficiency | Ce | % | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 17 | plant_net_capacity_factor | Pf | % | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 18 | lifespan | t | years | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

Tabla 34: Parámetros de entrada mostrados por gppeval para el recurso geotérmico Texistepeque.





El resultado del análisis estadístico de la zona según sus percentiles siguiente:

```
MAIN INFORMATION:
Most Likely PowerGeneration [MWe]=1.37093
Probability of 1.37093[MWe]=0.532
P10% [MWe]=0.615265

STATISTICAL ANALYSIS:
Iterations=10000
Mean=1.52601[MWe]
Median=1.43274[MWe]
Standard Deviation=0.76699[MWe]
Skew=0.707706
Kurt=3.53183
Minimum=0.0108018[MWe]
Maximum=5.2001[MWe]
P5%=0.4254[MWe]
P10%=0.615265[MWe]
P15%=0.750767[MWe]
P20%=0.861449[MWe]
P25%=0.969185[MWe]
P30%=1.07076[MWe]
P35%=1.15686[MWe]
P40%=1.24964[MWe]
P45%=1.33979[MWe]
P50%=1.43274[MWe]
P55%=1.52624[MWe]
P60%=1.62187[MWe]
P65%=1.7278[MWe]
P70%=1.8478[MWe]
P75%=1.98332[MWe]
P80%=2.14003[MWe]
P85%=2.31645[MWe]
P90%=2.55831[MWe]
P95%=2.95824[MWe]
```

*Figura 75: Análisis estadístico del recurso geotérmico Texistepeque.*

La probabilidad de encontrar un potencial mayor del **0.6153 MWe es del 90%** y la expansión máxima del sistema geotérmico en un futuro es de **1.3709 MWe es de 53.2%**. A continuación, se presenta los resultados de forma gráfica:



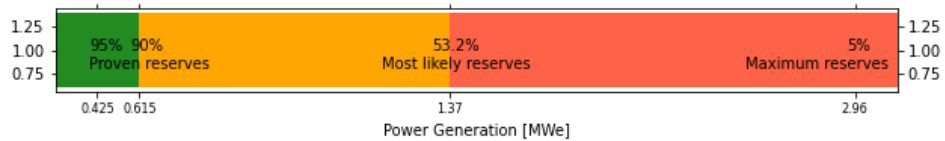
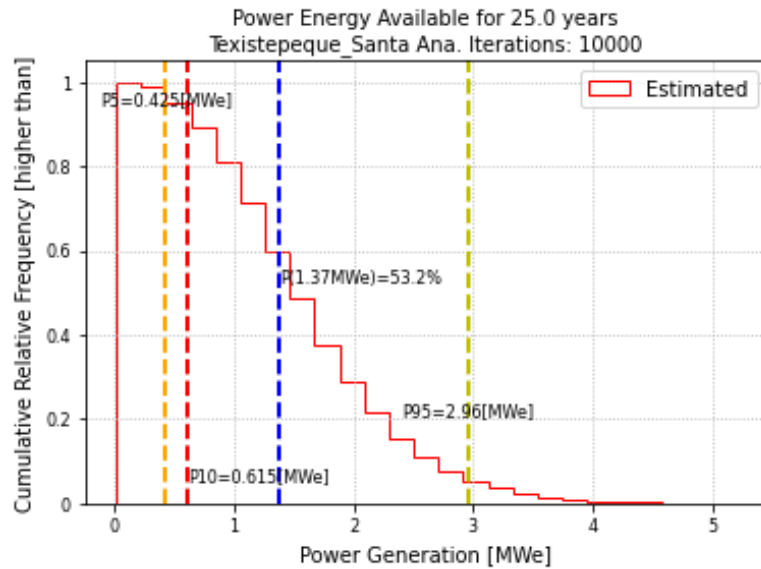
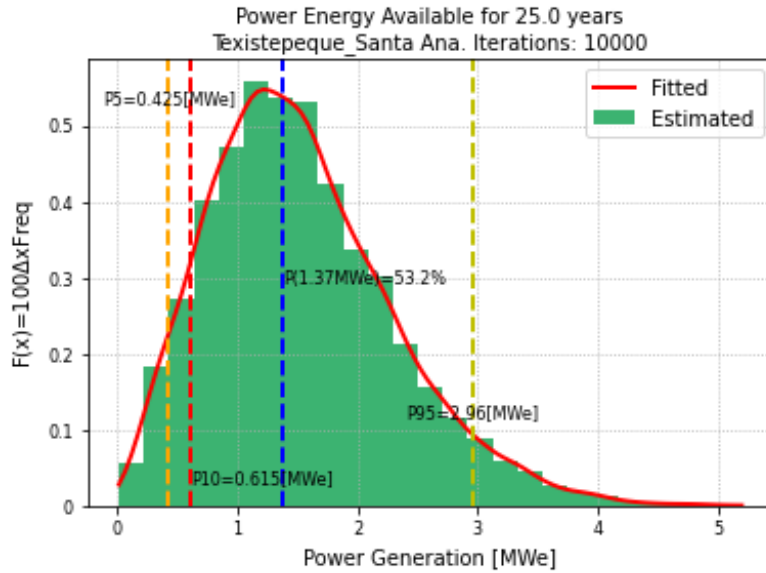


Figura 76: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Texistepeque.

### ➤ Reservorio geotérmico Santa Rosa La Union

Los parámetros geotérmicos para el reservorio Santa Rosa dentro del archivo .csv y los resultados se observan en las siguientes figuras.



#Item	Nombre_Area	Latitud	Longitud	Parametro_Reservorio	Simbolo	Unidad	Minimo	Esperado	Maximo	Media	Derivacion_Estandar	Tipo_distribucion
0	Santa Rosa La Union	13.62125	-87.903654	Area	A	km2	2	11.5	21	0	0	T
1				Espesor	h	m	500	750	1000	0	0	U
2				Volumen	Tr	km3	1	11	21	0	0	none
3				Temperatura_Reservorio	Tr	oC	100	120	140	0	0	T
4				Temperatura_Final	Ta	oC	90	90	90	0	0	C
5				Porosidad	Phi	%	0.07	0.1	0.15	0	0	T
6				Calor_Especifico_Roca	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0	0	C
7				Calor_Epecifico_Fluido	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0	0	C
8				Densidad_Roca	rho_r	kg/m3	2700	2700	2700	0	0	C
9				Densidad_Fluido	rho_f	kg/m3	834	897	959	0	0	T
10				saturacion de agua en el reservorio	sat	%	0	1	0	0	0	C
11				Factor_Recuperacion	Rf	%	0.1	0.15	0.25	0	0	T
12				Eficiencia_Conversion	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0	0	C
13				Factor_Potencia	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0	0	C
14				Esperanza_Vida	t	years	25	25	25	0	0	C

Tabla 34: Parámetros del reservorio geotérmico Santa Rosa.

```

+-----+-----+-----+
| name | lat [oC] | lon [oC] |
+-----+-----+-----+
| Santa Rosa La Union | 13.621 | -87.904 |
+-----+-----+-----+

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Item | Variable | Symbol | Units | Min | Most_Likely | Max | Mean | SD | PDF |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0 | area | A | km2 | 2.0 | 11.5 | 21.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | thickness | h | m | 500.0 | 750.0 | 1000.0 | 0.0 | 0.0 | U |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 2 | volume | v | km3 | 1.0 | 11.0 | 21.0 | 0.0 | 0.0 | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 3 | reservoir_temp | Tr | oC | 100.0 | 120.0 | 140.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 4 | abandon_temp | Ta | oC | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 5 | porosity | phi | % | 0.07 | 0.1 | 0.15 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 6 | rock_specific_heat | Cr | kJ/kg-oC | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 7 | fluid_specific_heat | Cf | kJ/kg-oC | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 8 | rock_density | rho_r | kg/m3 | 2700.0 | 2700.0 | 2700.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 9 | fluid_density | rho_f | kg/m3 | 834.0 | 897.0 | 959.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 10 | reservoir_steam_density | rho_si | kg/m3 | 0.598 | 1.122 | 1.967 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 11 | Water Saturation | Sw | % | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 12 | reservoir_steam_enthalpy | h_si | kJ/kg | 2675.57 | 2705.926 | 2733.443 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 13 | reservoir_liquid_enthalpy | h_li | kJ/kg | 419.166 | 503.812 | 589.162 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 14 | abandon_liquid_enthalpy | h_lf | kJ/kg | 377.039 | 377.039 | 377.039 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 15 | recovery_factor | RF | % | 0.1 | 0.15 | 0.25 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 16 | conversion_efficiency | Ce | % | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 17 | plant_net_capacity_factor | Pf | % | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 18 | lifespan | t | years | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

Tabla 35: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico Santa Rosa.



El resultado del análisis estadístico de la zona según sus percentiles siguiente:

```
MAIN INFORMATION:
Most Likely PowerGeneration [MWe]=14.0139
Probability of 14.0139[MWe]=0.5027
P10% [MWe]=6.42316

STATISTICAL ANALYSIS:
Iterations=10000
Mean=15.6119[MWe]
Median=14.0766[MWe]
Standard Deviation=8.35256[MWe]
Skew=1.12766
Kurt=4.74853
Minimum=1.20182[MWe]
Maximum=67.6837[MWe]
P5%=5.05424[MWe]
P10%=6.42316[MWe]
P15%=7.52149[MWe]
P20%=8.55898[MWe]
P25%=9.47425[MWe]
P30%=10.4076[MWe]
P35%=11.3415[MWe]
P40%=12.2377[MWe]
P45%=13.1494[MWe]
P50%=14.0766[MWe]
P55%=15.0783[MWe]
P60%=16.1481[MWe]
P65%=17.3066[MWe]
P70%=18.4986[MWe]
P75%=19.9178[MWe]
P80%=21.6172[MWe]
P85%=23.8725[MWe]
P90%=27.0105[MWe]
P95%=31.7907[MWe]
```

*Figura 77: Análisis estadístico del recurso geotérmico Santa Rosa.*

La probabilidad de encontrar un potencial mayor del **6.4232 MWe es del 90%** y la expansión máxima del sistema geotérmico en un futuro es de **14.014 MWe es de 50.27%**. A continuación, se presenta los resultados de forma gráfica:



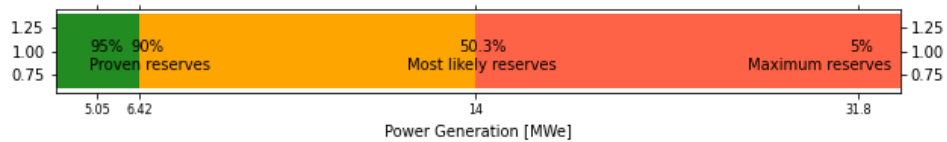
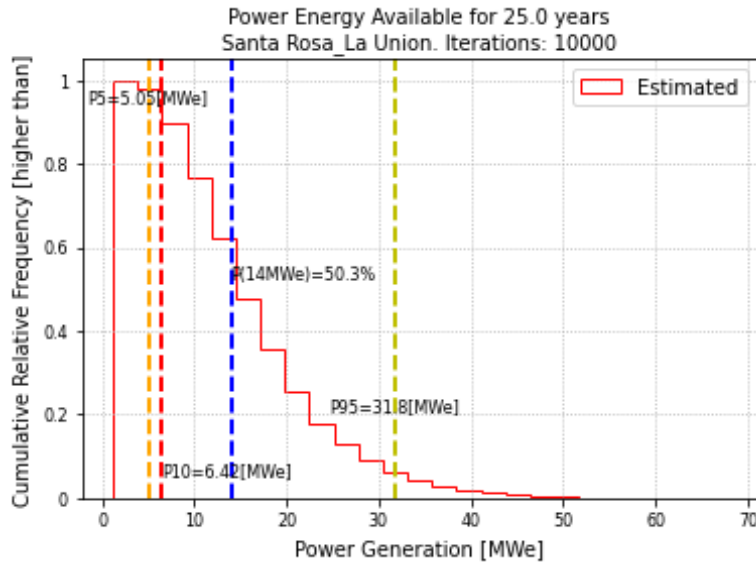
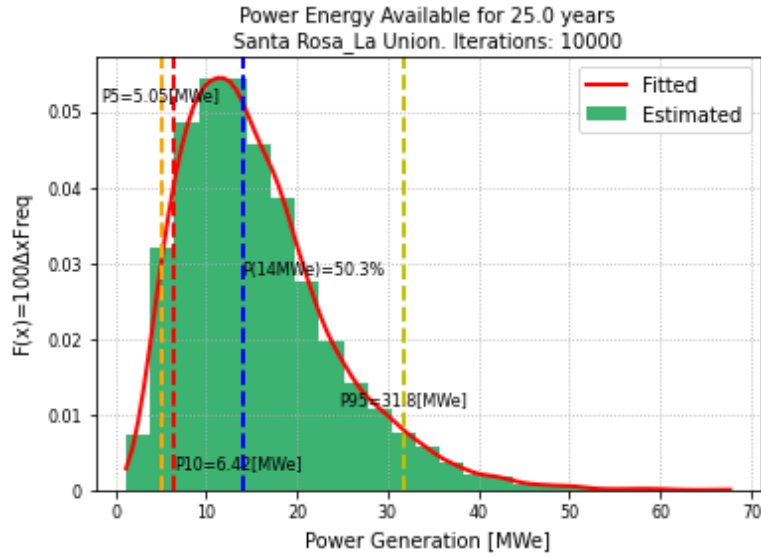


Figura 78: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico Santa Rosa.

### ➤ Reservorio geotérmico San Lorenzo Ahuachapán

Los parámetros geotérmicos para el reservorio San Lorenzo dentro del archivo csv y los resultados se observan en las siguientes figuras.



#Item	Nombre_Area	Latitud	Longitud	Parametro_Reservorio	Simbolo	Unidad	Minimo	Esperado	Maximo	Media	Derivacion_Estandar	Tipo_distribucion
0	San Lorenzo_Ahuachapan	14.02795	-89.795708	Area	A	km2	2	2.25	2.5	0	0	T
1				Espesor	h	m	500	750	1000	0	0	U
2				Volumen	Tr	km3	1	1.75	2.5	0	0	none
3				Temperatura_Reservorio	Tr	oC	130	145	160	0	0	T
4				Temperatura_Final	Ta	oC	90	90	90	0	0	C
5				Porosidad	Phi	%	0.07	0.1	0.15	0	0	T
6				Calor_Especifico_Roca	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0	0	C
7				Calor_Epecifico_Fluido	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0	0	C
8				Densidad_Roca	rho_r	kg/m3	2700	2700	2700	0	0	C
9				Densidad_Fluido	rho_f	kg/m3	834	897	959	0	0	T
10				saturacion de agua en el reservorio	sat	%	0	1	0	0	0	C
11				Factor_Recuperacion	Rf	%	0.1	0.15	0.25	0	0	T
12				Eficiencia_Conversion	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0	0	C
13				Factor_Potencia	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0	0	C
14				Esperanza_Vida	t	years	25	25	25	0	0	C

Tabla 36: Parámetros del reservorio geotérmico San Lorenzo.

```

+-----+-----+-----+
| name | lat [oC] | lon [oC] |
+-----+-----+-----+
| San Lorenzo_Ahuachapan | 14.028 | -89.796 |
+-----+-----+-----+
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Item | Variable | Symbol | Units | Min | Most_Likely | Max | Mean | SD | PDF |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0 | area | A | km2 | 2.0 | 2.25 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | thickness | h | m | 500.0 | 750.0 | 1000.0 | 0.0 | 0.0 | U |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 2 | volume | v | km3 | 1.0 | 1.75 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 3 | reservoir_temp | Tr | oC | 130.0 | 145.0 | 160.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 4 | abandon_temp | Ta | oC | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 5 | porosity | phi | % | 0.07 | 0.1 | 0.15 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 6 | rock_specific_heat | Cr | kJ/kg-oC | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 7 | fluid_specific_heat | Cf | kJ/kg-oC | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 8 | rock_density | rho_r | kg/m3 | 2700.0 | 2700.0 | 2700.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 9 | fluid_density | rho_f | kg/m3 | 834.0 | 897.0 | 959.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 10 | reservoir_steam_density | rho_si | kg/m3 | 1.497 | 2.242 | 3.26 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 11 | Water Saturation | Sw | % | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 12 | reservoir_steam_enthalpy | h_si | kJ/kg | 2720.081 | 2739.8 | 2757.441 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 13 | reservoir_liquid_enthalpy | h_li | kJ/kg | 546.384 | 610.638 | 675.473 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 14 | abandon_liquid_enthalpy | h_lf | kJ/kg | 377.039 | 377.039 | 377.039 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 15 | recovery_factor | RF | % | 0.1 | 0.15 | 0.25 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 16 | conversion_efficiency | Ce | % | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 17 | plant_net_capacity_factor | Pf | % | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 18 | lifespan | t | years | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

Tabla 8: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico San Lorenzo.



El resultado del análisis estadístico de la zona según sus percentiles siguiente:

```
MAIN INFORMATION:
Most Likely PowerGeneration [MWe]=5.02673
Probability of 5.02673[MWe]=0.588
P10% [MWe]=3.59837

STATISTICAL ANALYSIS:
Iterations=10000
Mean=5.60722[MWe]
Median=5.37738[MWe]
Standard Deviation=1.68458[MWe]
Skew=0.66837
Kurt=3.32651
Minimum=1.96134[MWe]
Maximum=12.8455[MWe]
P5%=3.24566[MWe]
P10%=3.59837[MWe]
P15%=3.88068[MWe]
P20%=4.14491[MWe]
P25%=4.35892[MWe]
P30%=4.58393[MWe]
P35%=4.77102[MWe]
P40%=4.97956[MWe]
P45%=5.18687[MWe]
P50%=5.37738[MWe]
P55%=5.60381[MWe]
P60%=5.82312[MWe]
P65%=6.07699[MWe]
P70%=6.35262[MWe]
P75%=6.63796[MWe]
P80%=6.97304[MWe]
P85%=7.36261[MWe]
P90%=7.90113[MWe]
P95%=8.72906[MWe]
```

*Figura 79: Análisis estadístico del recurso geotérmico San Lorenzo.*

La probabilidad de encontrar un potencial mayor del **3.5984 MWe es del 90%** y la expansión máxima del sistema geotérmico en un futuro es de **5.0267 MWe es de 58.8%**. A continuación, se presenta los resultados de forma gráfica:



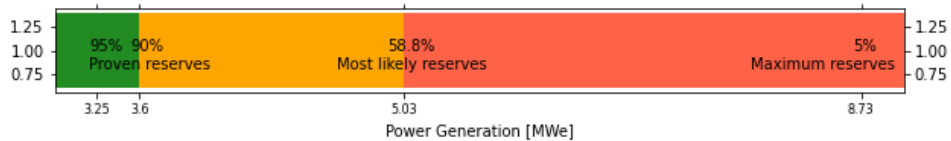
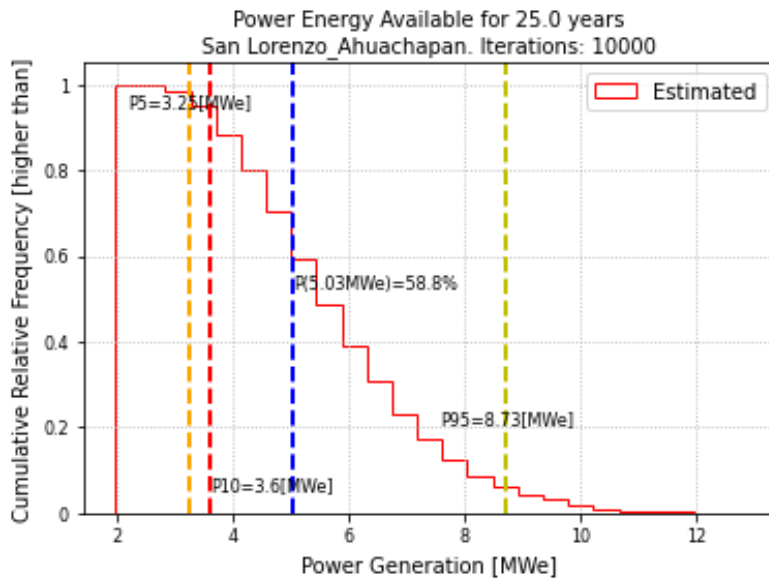
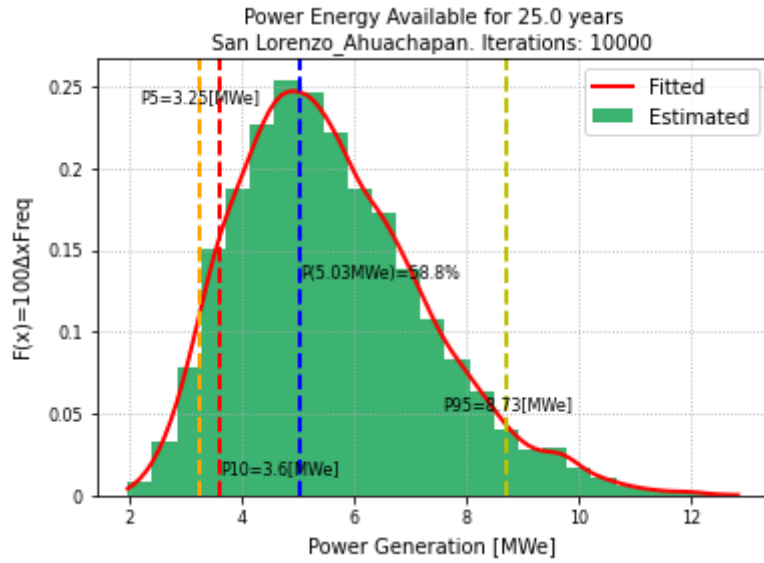


Figura 80: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico San Lorenzo.

### ➤ Reservorio geotérmico El Paraíso Chalatenango

Los parámetros geotérmicos para el reservorio El Paraíso dentro del archivo csv y los resultados se observan en las siguientes figuras.





#Item	Nombre_Area	Latitud	Longitud	Parametro_Reservorio	Simbolo	Unidad	Minimo	Esperado	Maximo	Media	Derivacion_Estandar	Tipo_distribucion
0	El Paraiso_Chalatenango	14.1069	-89.07279	Area	A	km2	2	3	4	0	0	T
1				Espesor	h	m	500	750	1000	0	0	U
2				Volumen	Tr	km3	1	2.5	4	0	0	none
3				Temperatura_Reservorio	Tr	oC	100	113	126	0	0	T
4				Temperatura_Final	Ta	oC	90	90	90	0	0	C
5				Porosidad	Phi	%	0.07	0.1	0.15	0	0	T
6				Calor_Especifico_Roca	Cr	kJ/kg-oC	0.9	0.9	0.9	0	0	C
7				Calor_Especifico_Fluido	Cf	kJ/kg-oC	4.2	4.2	4.2	0	0	C
8				Densidad_Roca	rho_r	kg/m3	2700	2700	2700	0	0	C
9				Densidad_Fluido	rho_f	kg/m3	834	897	959	0	0	T
10				saturacion de agua en el reservorio	sat	%	0	1	0	0	0	C
11				Factor_Recuperacion	Rf	%	0.1	0.15	0.25	0	0	T
12				Eficiencia_Conversion	Ce	%	0.1	0.1	0.1	0	0	C
13				Factor_Potencia	Pf	%	0.9	0.9	0.9	0	0	C
14				Esperanza_Vida	t	years	25	25	25	0	0	C

Tabla 38: Parámetros del reservorio geotérmico El Paraíso.

```

+-----+-----+-----+
| name | lat [oC] | lon [oC] |
+-----+-----+-----+
| El Paraiso_Chalatenango | 14.107 | -89.073 |
+-----+-----+-----+

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Item | Variable | Symbol | Units | Min | Most_Likely | Max | Mean | SD | PDF |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0 | area | A | km2 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | thickness | h | m | 500.0 | 750.0 | 1000.0 | 0.0 | 0.0 | U |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 2 | volume | v | km3 | 1.0 | 2.5 | 4.0 | 0.0 | 0.0 | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 3 | reservoir_temp | Tr | oC | 100.0 | 113.0 | 126.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 4 | abandon_temp | Ta | oC | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 5 | porosity | phi | % | 0.07 | 0.1 | 0.15 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 6 | rock_specific_heat | Cr | kJ/kg-oC | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 7 | fluid_specific_heat | Cf | kJ/kg-oC | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 8 | rock_density | rho_r | kg/m3 | 2700.0 | 2700.0 | 2700.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 9 | fluid_density | rho_f | kg/m3 | 834.0 | 897.0 | 959.0 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 10 | reservoir_steam_density | rho_si | kg/m3 | 0.598 | 0.908 | 1.337 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 11 | Water Saturation | Sw | % | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 12 | reservoir_steam_enthalpy | h_si | kJ/kg | 2675.57 | 2695.59 | 2714.509 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 13 | reservoir_liquid_enthalpy | h_li | kJ/kg | 419.166 | 474.117 | 529.332 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 14 | abandon_liquid_enthalpy | h_lf | kJ/kg | 377.039 | 377.039 | 377.039 | 1.0 | 1.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 15 | recovery_factor | RF | % | 0.1 | 0.15 | 0.25 | 0.0 | 0.0 | T |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 16 | conversion_efficiency | Ce | % | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 17 | plant_net_capacity_factor | PF | % | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 18 | lifespan | t | years | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 0.0 | 0.0 | C |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

Tabla 39: Parámetros de entrada mostrados por gpeval para el recurso geotérmico El Paraíso.



El resultado del análisis estadístico de la zona según sus percentiles siguiente:

```
MAIN INFORMATION:
Most Likely PowerGeneration [MWe]=2.80278
Probability of 2.80278[MWe]=0.5441
P10% [MWe]=1.72764

STATISTICAL ANALYSIS:
Iterations=10000
Mean=3.127[MWe]
Median=2.93034[MWe]
Standard Deviation=1.22437[MWe]
Skew=0.874105
Kurt=3.87073
Minimum=0.710068[MWe]
Maximum=9.1304[MWe]
P5%=1.48395[MWe]
P10%=1.72764[MWe]
P15%=1.91515[MWe]
P20%=2.07881[MWe]
P25%=2.22257[MWe]
P30%=2.36652[MWe]
P35%=2.50948[MWe]
P40%=2.65413[MWe]
P45%=2.78528[MWe]
P50%=2.93034[MWe]
P55%=3.08548[MWe]
P60%=3.24454[MWe]
P65%=3.42248[MWe]
P70%=3.61031[MWe]
P75%=3.82566[MWe]
P80%=4.0864[MWe]
P85%=4.37269[MWe]
P90%=4.80083[MWe]
P95%=5.44037[MWe]
```

*Figura 81: Análisis estadístico del recurso geotérmico El Paraíso.*

La probabilidad de encontrar un potencial mayor del **1.7276 MWe es del 90%** y la expansión máxima del sistema geotérmico en un futuro es de **2.8073 MWe es de 54.41%**. A continuación, se presenta los resultados de forma gráfica:



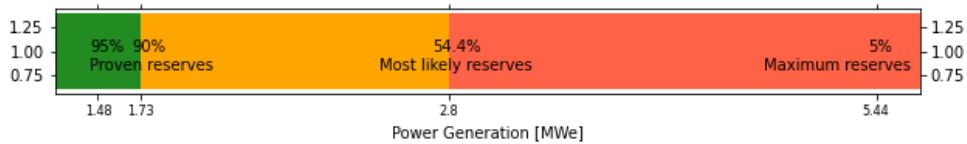
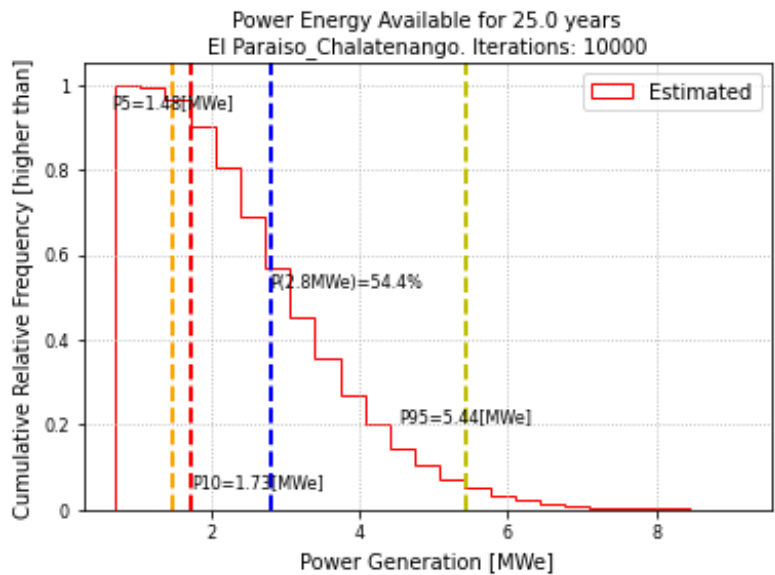
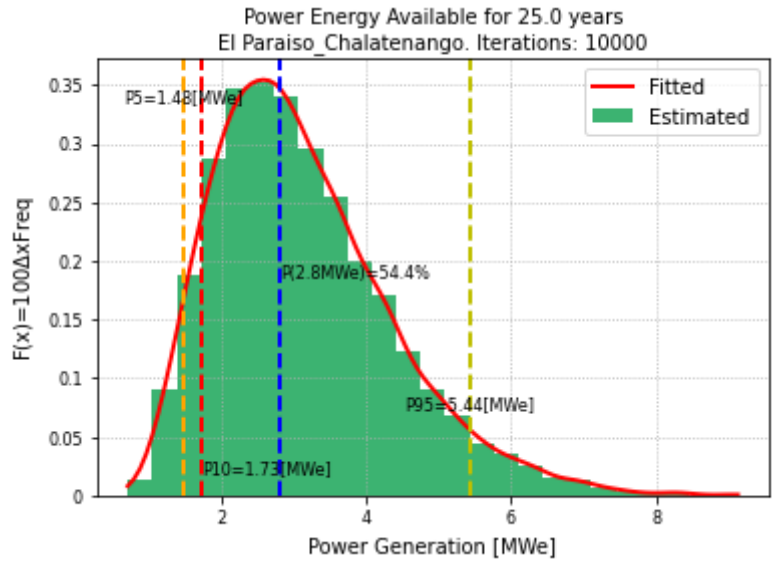


Figura 82: Grafico de frecuencia, frecuencia acumulada y caja contra potencial geotérmico en el recurso geotérmico El Paraíso.



#### 4.4.5. TABLA DE RECURSOS GEOTERMICOS A PARTIR DE LOS RESULTADOS

Con los resultados obtenidos en la sección anterior con el método volumétrico y la simulación de Montecarlo, se procede a organizar estos resultados de manera tabular según la clasificación de categorías mencionados en el Capítulo I.

Es importante mencionar que los recursos de categoría C fueron descartados en la investigación debido a que no representan ninguna aplicación en la industria, además algunos recursos geotérmicos como Parras-Lempa y Metapán pertenecen al mismo sistema geotérmica de Obrajuelo-Lempa y Guija respectivamente también fueron descartados.

Recursos Geotérmicos de Categoría A							
puntos	Lugar	Latitud	Longitud	Área Geotérmica	Temperatura promedio del reservorio (°C)	Simulación de MonteCarlo (probabilidad de ocurrencia 90%)	Expansión máxima del recurso geotérmico (probabilidad) [MWe]
1	La Union	13.48	-88.334	Conchagua	210	46.7211	73.7025
2	Santa Ana	13.844	-89.572	Coatepeque	234	38.2145	54.7722
3	San Miguel	13.5	-88.35	Chilanguera	181	20.8358	35.4856
4	San Vicente	13.583	-88.702	Obrajuelo-Lempa	166	22.0906	31.6944
<b>Totales (MWe):</b>						127.862	195.6547

Tabla 40: Tabla de recursos geotérmicos a partir de los resultados

En la tabla anterior, se observan los resultados calculados con la herramienta gpeval de los recursos geotérmicos clasificadas como categoría A, en dicha categoría se estima que podemos extraer un potencial eléctrico de **127.862 MWe** con una probabilidad del 90% y pueden tener una futura expansión del sistema geotérmico hasta **195.6547 MWe**.

Por otra parte, Los resultados de los recursos geotérmicos clasificados como categoría B se muestran en la siguiente tabla.



Recursos Geotérmicos de Categoría B							
puntos	Lugar	Latitud	Longitud	Área Geotérmica	Temperatura promedio del reservorio (°C)	Simulación de MonteCarlo (probabilidad de ocurrencia 90%) [MWe]	Expansión máxima del recurso geotérmico [MWe]
1	San Miguel	13.842	-88.304	Carolina	140	2.4946	4.5697
2	Chalatenango	14.135	-89.211	Obrajuelo	110	6.3438	9.9519
3	La Unión	13.621	-87.904	Santa Rosa de Lima	120	6.4232	14.0139
4	La Unión	13.668	-87.795	El Sauce	110	2.6929	4.8744
5	Chalatenango	14.003	-88.739	Nombre de Jesús	140	4.102	8.124
6	Santa Ana	14.24	-89.465	Guija	110	0.8081	1.8279
7	Santa Ana	14.086	-89.457	Texistepeque	105	0.6153	1.3709
8	Chalatenango	14.107	-89.073	El Paraíso	113	1.7276	2.8028
9	Ahuachapán	13.941	-90.009	Durazneño	129	2.5556	3.5644
10	Ahuachapán	13.963	-89.956	Los Toles	125	1.8757	3.1988
11	Ahuachapán	14.028	-89.796	San Lorenzo	145	3.5984	5.0267
12	Ahuachapán	14.013	-89.908	Los Salitres	123	2.0643	3.016
13	Sonsonate	13.733	-89.647	Caluco	116	1.4899	2.3762
15	Chalatenango	13.815	-89.448	Agua Caliente	130	2.6365	3.6558
Totales (MWe):						39.4279	68.3734

Tabla 41: Tabla de recursos geotérmicos a partir de los resultados.

En esta categoría, se estima que podemos extraer un potencial de **39.4279 MWe** con una probabilidad del 90% y una futura expansión del sistema geotérmico de obtener **68.3734 MWe**.



## CAPITULO IV

### 4.1. APLICACIÓN WED: MAPA HIDROTERMAL DE EL SALVADOR

En este capítulo se muestra el desarrollo de una aplicación web para la creación de un mapa con información geográfica, el cual puede ser actualizado en tiempo real, esto mediante el uso de las herramientas de desarrollo web, tales como frameworks, librerías, entornos, instancias, gestores de base de datos, etc. Para el desarrollo de esta aplicación se abordan los conceptos más importantes para su entendimiento total de dicha aplicación.

### 4.2. ESTRUCTURA GENERAL.

La aplicación cuenta con dos grandes partes para su funcionalidad, dos servidores trabajando simultáneamente, el primer servidor trabajará con una API REST y el segundo servidor consumirá esa API de la manera más convenientemente posible.

Una API REST o API RESTFUL, no es más que una interfaz de programación de aplicaciones web, el cual se ajusta a los límites de la arquitectura REST y permite la interacción con los servicios web de RESTFUL. Las API son conjuntos de definiciones y protocolos que se utilizan para diseñar e integrar el software de las aplicaciones y por último esta Leaflet que es una librería JavaScript open source ampliamente utilizada para la publicación de mapas en la web.



Figura 83: se muestra la estructura básica

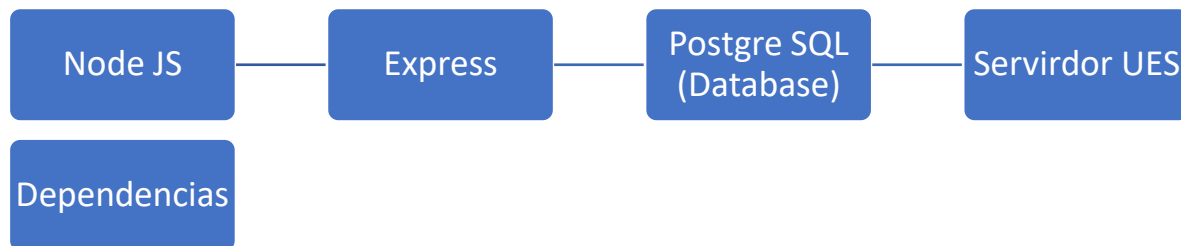
### 4.3. ESTRUCTURA FRONTEND Y BACKEND

Para la programación de una aplicación web, es necesario el conocimiento tanto del Frontend como el Backend, estas son parte fundamental en la programación para el sitio web.

#### 4.3.1. EL BACKEND

El Backend se refiere a la parte interior de la aplicación, este procesa la información que alimenta el Frontend, consta del servidor, la aplicación y una base de datos, aquí es donde se aplican los frameworks y diferentes tipos de base de datos,

Para la programación del Backend, se utilizaron Node.js y PostgreSQL para el caso en cuestión.



*Figura 84: Estructura Backend*

Como primer punto esta Node JS, este es un entorno de tiempo de ejecución de JavaScript, gracias a este se ocupará JavaScript como entorno de programación del Backend (Ryan Dahl, 2009). El backend es la parte del desarrollo web que se encarga de que toda la lógica de una página web funcione.

Node JS se caracteriza por tener funciones asíncronas, es decir que el lenguaje en curso no espera a que termine una instrucción, sino que trabaja de manera paralela con

las demás sentencias, por cuál es su utilidad para proyectos en crecimientos como este, es de mucha importancia.

El módulo Express o frameworks Express es básicamente es un marco de desarrollo minimalista para Node.js (Fazt Code, 2019) que permite estructurar una aplicación de una manera ágil, nos proporciona funcionalidades como el enrutamiento, opciones para gestionar sesiones y cookies, etc.

PostgreSQL es un sistema o motor de bases de datos (Michael Stonebraker, 1996). Es compatible con diversos modelos de datos para crear aplicaciones orientadas a objetos, potentes y escalable, acá es donde guardáramos la información acerca de los datos obtenidos de los diferentes puntos hidrotermales antes mencionados, es decir nuestra base de datos.

La base de datos es almacenada como primaria instancia es un servidor primado en Digital Ocean, esto para fines de estudio y pruebas en el servidor, posterior la base de datos es almacenada en los servidores de la Universidad de El Salvador como dominio público.

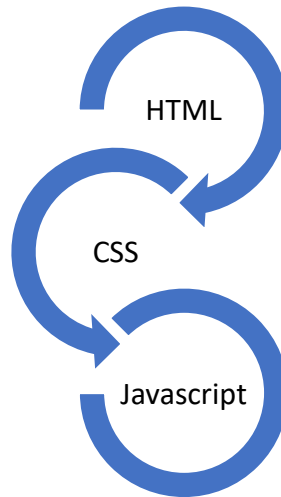
#### 4.3.2. EL FRONTEND

El Frontend es la parte encarga de la interacción con los usuarios, es decir del lado del cliente, se refiere básicamente a todo lo que se ve en pantalla en el sitio web: Tipos de letra, colores, mapa, cuadros, efectos visuales, etc. Es la interfaz gráfica sencilla de usar, atractiva y funcional que el usuario observa al entrar al sitio web, para el caso.

Para la programación del Front End, los lenguajes de programación utilizados son los siguientes: JavaScript, HTML, y CSS.







*Figura 85: Estructura Frontend*

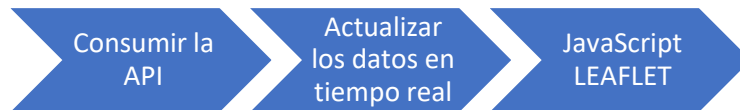
Para la programación de Backend, generalmente y para el caso en cuestión es necesario la programación de HTML, CSS y JavaScript.

El HTML es el componente más básico de un sitio web, este define la estructura del contenido web a mostrar al cliente o usuarios, es un lenguaje de marcado sin estructura lógica que permite estructurar la información de manera que los navegadores puedan entenderla.

El CSS es el lenguaje de diseño gráfico que permite definir la presentación de un determinado documento estructurado. Donde con HTML se define qué es cada elemento.

JavaScript es un lenguaje de programación que se puede incrustar en documentos HTML (Brenda Eich, 1995). Aunque está diseñado para su uso fuera de la web, se utiliza principalmente en esta área del lado del cliente. Es decir, se ejecuta en el navegador donde se carga el documento HTML.

## 4.4. ESTRUCTURA API



*Figura 86: Estructura API*

Consumir la API es un término muy usado por desarrolladores Front-end, es básicamente preguntarle al backend ¿Tienes datos para mí? Si es así, dámelos. El desarrollo de esta etapa es programado únicamente en JavaScript y no se necesita de un entorno como NodeJS ya que es programando del lado cliente. Mediante el uso de funciones recursivas y el reloj del navegador, se escribe en un período de tiempo para actualizar los datos, este período de tiempo puede variar, como es de esperar, cuanto más bajo sea el tiempo del navegador, más recursos utilizará. Leaflet es una librería de JavaScript utilizada para la visualización grafica de datos (Vladimir Agafonkin, 2010). Leaflet facilita la geolocalización y la manipulación de estos datos y actualmente es usada por muchas empresas.

## 4.5. GUIA DE DESARROLLO DE APLICACIÓN WEB:

Después de explicado la estructura base de la aplicación web, se procede a dar una guía de la creación de dicha aplicación, por lo que se pretende dar un conocimiento paso a paso del desarrollo.

### 4.5.1. INSTALACION DE VISUAL STUDIO CODE

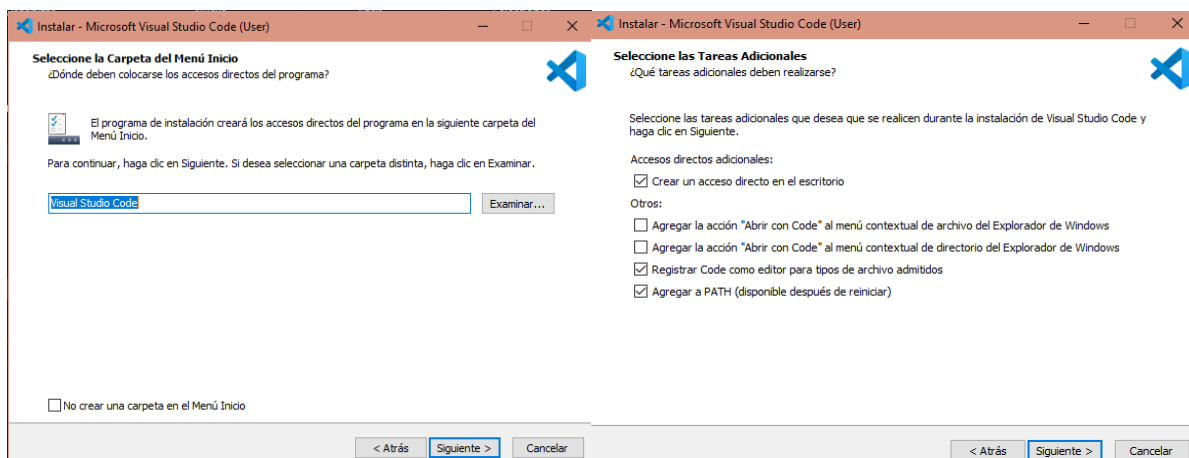
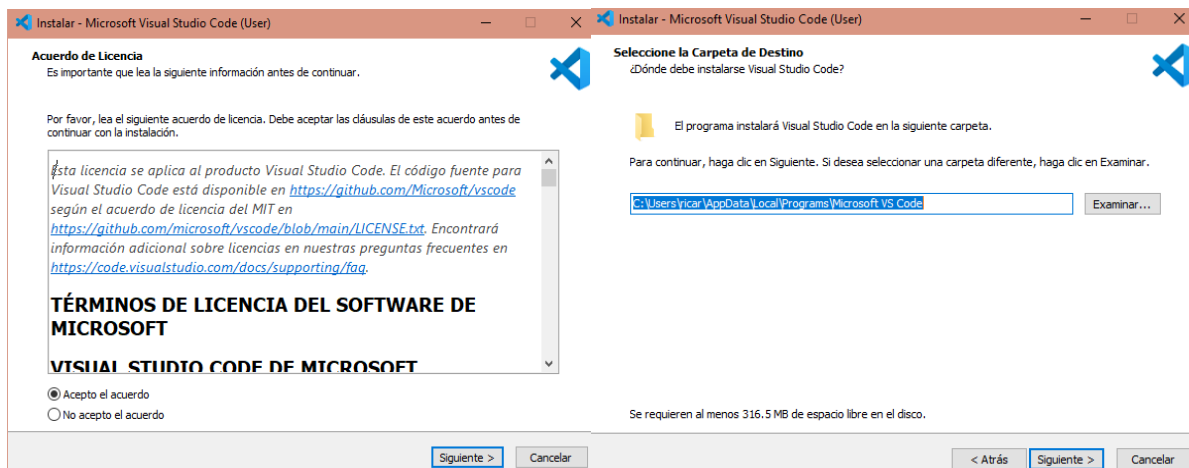
Como primera instancia tenemos la instalación de Visual Studio Code, el cual es un editor de código fuente desarrollado por Microsoft. Es software libre y multiplataforma,



está disponible para Windows, GNU/Linux y macOS (Microsoft , 2015). VS Code tiene una buena integración con Git, cuenta con soporte para depuración de código, y dispone de un sinnúmero de extensiones, que básicamente te da la posibilidad de escribir y ejecutar código en cualquier lenguaje de programación.

Para la descarga de dicho programa se deja el siguiente link de la página oficial de Visual Studio Code: <https://code.visualstudio.com/Download>. A continuación, se mencionan una serie de puntos para su instalación, desarrollo y resultados de dicho programa.

Al descargar el archivo del link anteriormente proporcionado y ejecutarlo como administrador, tenemos como primer punto las siguientes ventanas:



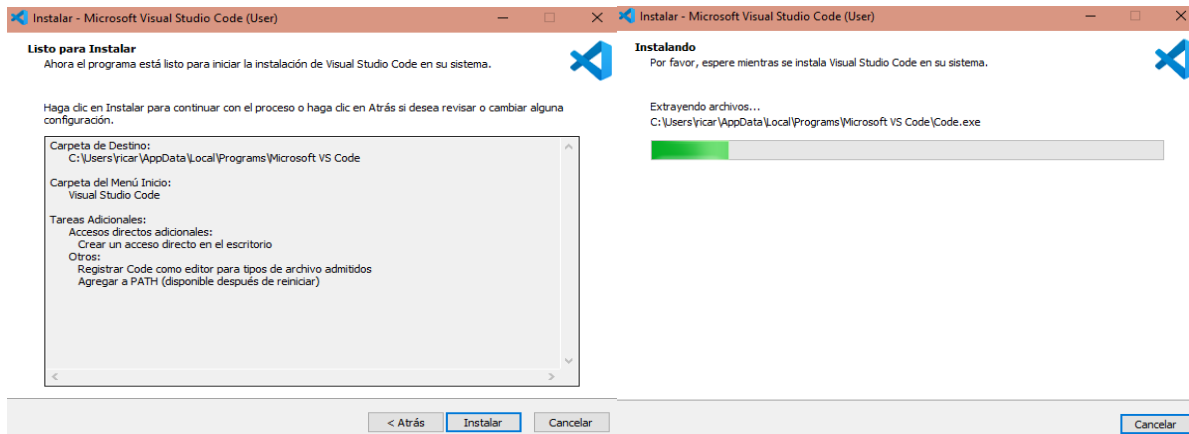


Figura 87: Secuencia de instalación del programa Visual Studio Code.

Una vez instalado Visual Studio Code, tenemos el entorno en donde comenzaremos a trabajar.

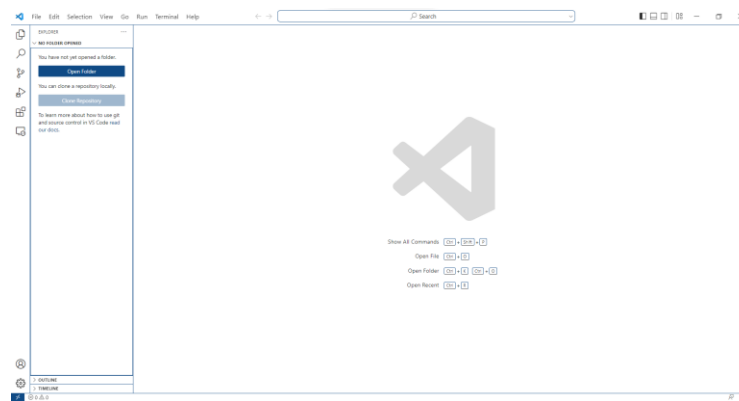


Figura []: Entorno de trabajo de Visual Studio Code.

#### 4.5.2. PROGRAMACION DEL FRONTEND

A continuación, se crea una carpeta en donde guardaremos los archivos a utilizar, para el caso se creó la carpeta llamada Mapa Hidrotermal, para ello creamos una carpeta y la abrimos dando en la opción File, la opción de Open Folder y elegimos la carpeta donde almacenaremos nuestros archivos, como se muestra a en la siguiente imagen:



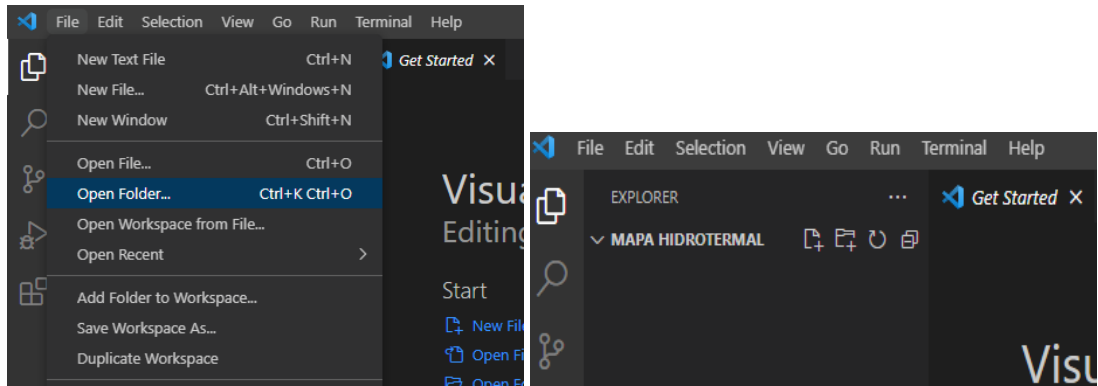


Figura 88: Creación de carpeta: Mapa Hidrotermal

En la carpeta creada se almacenan los archivos principalmente, para la programación del Frontend se ocupan un archivo Java Script, un archivo CSS y un archivo HTML, (Los archivos fueron nombrados a conveniencia) como se muestra a continuación:

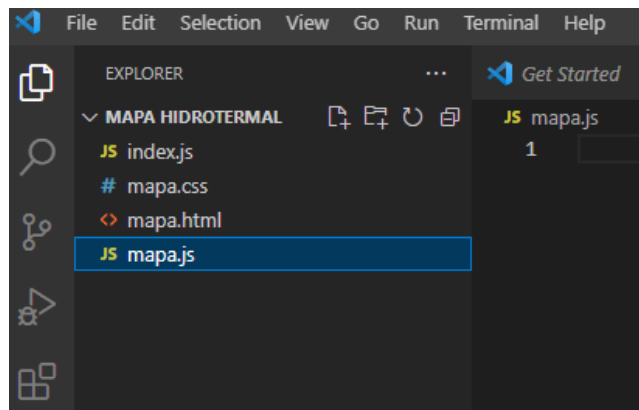


Figura 89: Archivos principales almacenados en la carpeta Mapa Hidrotermal.

El primer archivo que comenzaremos a editar será el archivo mapa.HTML, este es el código que se utiliza para estructurar y desplegar una página web y sus contenidos. Como primera instancia tenemos las siguientes líneas de código:



```

<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  <title>Document</title>
</head>
<body>

</body>
</html>

```

<!DOCTYPE html> Es el tipo de documento. Es un preámbulo requerido que debe ser incluido para que todo funcione correctamente. En dicho código se comienza agregado el archivo CSS, cabe mencionar que todo lo relacionado con el archivo CSS, archivo con el cual cambia el formato de presentación de la página, es agregado dentro de la sentencia de <head> ya que es acá donde el html lee archivos de configuración en cuanto a contenido, es decir los códigos en relación a la presentación, como se muestra a continuación.

```

<!--Relacionando el archivo CSS-->
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="mapa.css">

```

Para la creación de un mapa interactivo se ocupa la librería Leaflet (Vladimir Agafonkin, 2010), Las líneas de código necesitadas se pueden obtener a través del siguiente Link: <https://leafletjs.com/examples/quick-start/> , el código obtenido es el siguiente:

```

<!--Contenido de la libreria Leaflet css-->
  <link rel="stylesheet" href="https://unpkg.com/leaflet@1.8.0/dist/leaflet.css"
  integrity="sha512-hoalwLoI8r4UzCkZ5kL8vayOGVae1oxXe/2A4A0679+580uKHD03JdHb7NzwzK5xr/Fs0W40kiNHxM9vyTtQ=="
  crossorigin=""/>

```

agregado el CSS al código HTML, siempre teniendo en cuenta que es agregado dentro de la sentencia <head>, que a diferencia de los archivos JS, que tiene que agregarse en la sentencia <body> se procede a agregar el archivo Java Script, obtenido mediante el link antes proporcionado, el código obtenido es el siguiente:

```

<!--Contenido de la libreria Leaflet js-->
  <script src="https://unpkg.com/leaflet@1.8.0/dist/leaflet.js"
  integrity="sha512-BB3hKbKWOc9Ez/TAwyWxNXeoV9c1v6FieYiBieIWKpLjauysF18Nzgr1MBNBXf8/KABd1kX68nAh1wCDFLGPQ=="
  crossorigin=""></script>

```



Los códigos antes mostrados son agregados al archivo HTML, además de eso se relaciona tanto el archivo CSS, indicando que es una hoja de estilo, como el archivo Java Script, Estos son los archivos map.css y map.js creados desde un principio, también se coloca un "div" donde está contenido el mapa, como se muestra a continuación.

```
<body>
<!--Contenido del mapa-->
  <div id="map"></div>

<!--Contenido de la libreria Leaflet js-->
  <script src="https://unpkg.com/leaflet@1.8.0/dist/leaflet.js"
  integrity="sha512-BB3hKbW0c9Ez/TAwyWxNXeoV9c1v6FieYiBieIwKpljauysF18NzgR1MBNBXf8/KABd1kX68nAh1wcDFLGPQ=="
  crossorigin=""></script>

<!--Relacionando el archivo js-->
  <script src="mapa.js"></script>

</body>
```

En el archivo map.css, con el "map" creado a través del "div" en el archivo HTML, se realiza la configuración tanto de la altura como de la anchura de la ventana gráfica, así como también se agrega efectos de sombra alrededor del marco del elemento, como se muestra continuación:

```
/*Tamaño y márgenes del mapa*/
#map {
  margin: 0 auto;
  height: 800px;
  width: 100%;
}
```

Trabajando con el archivo mapa.js en donde, se realiza un llamado a la librería Leaflet y se agrega el mapa base, en el caso se trabaja con OpenStreetMap como mapa base, pero se puede usar cualquier mapa base de uso gratuito o libre distribución, cabe mencionar que es obligatorio una atribución según aviso de derechos de autor, para el caso también se agrega una vista satelital para ello se agrega el mapa EsriWorldImagery, esto se agrega con la siguiente sentencia de código (Vladimir Agafonkin, 2010).

```
/**Agregacion de los mapas a utilizar */
var Openstreetmap = L.tileLayer('https://{s}.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png', {
  attribution: '&copy; <a href="https://www.openstreetmap.org/copyright">OpenStreetMap</a> contributors'
});

var Esri_WorldImagery = L.tileLayer('https://server.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Imagery/MapServer/tile/{z}/{y}/{x}', {
  attribution:
  'Tiles &copy; Esri &mdash; Source: Esri, i-cubed, USDA, USGS, AEX, GeoEye, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, UPR-EGP, and the GIS User Community'
});
```



En el archivo map.js se crea una variable “map”, en el cual se agrega la librería de Leaflet, en esta también se configuran las coordenadas geográficas, que para en el caso de El Salvador son: 13.794185, -88.89653. Así como también se agrega un nivel de zoom y una escala.

```

/**Se define una variable map y baseMaps y se agrega la libreria Leaflet*/
var map = L.map('map', {
  center: [13.794185,-88.89653],
  zoom: 8.5,
  layers: [Openstreetmap,Esri_WorldImagery]
});

var baseMaps = {
  "OpenStreetMap":Openstreetmap ,
  "Esri World Imagery": Esri_WorldImagery
};

var layerControl = L.control.layers(baseMaps).addTo(map);
L.control.scale().addTo(map);

/**Agregar escala al mapa*/
new L.control.scale({imperial: false}).addTo(map);

```

Como primera prueba se tiene el siguiente resultado al abrir nuestro map.html con el navegador.

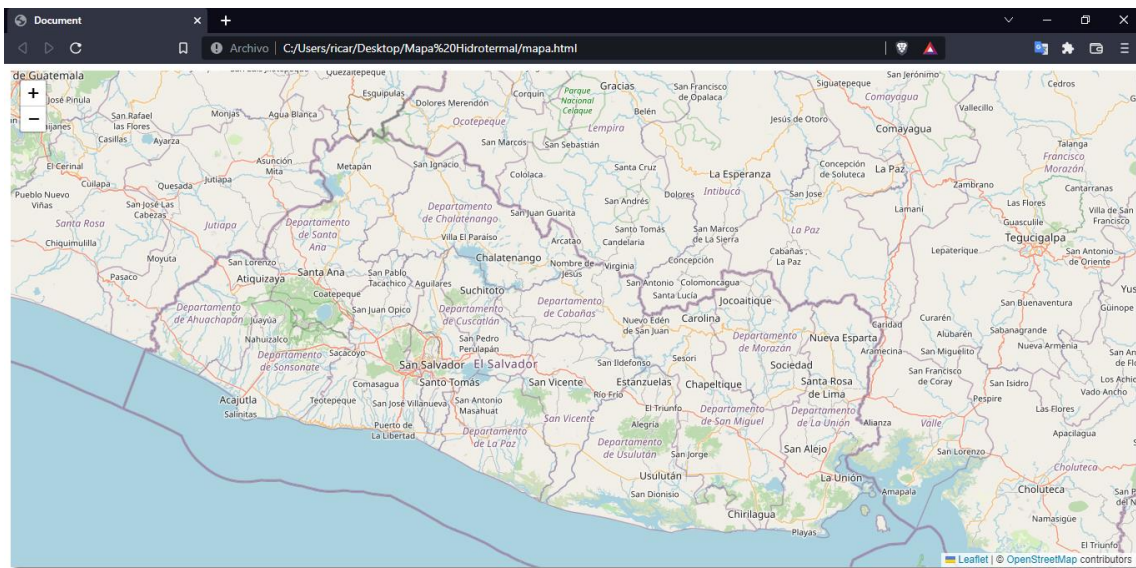


Figura 90: Resultado obtenido, primera prueba.

Prosiguiendo con el desarrollo, en el archivo mapa.html, en el apartado <title>document</title> borramos el contenido y colocamos un título al proyecto creado, este título es el que se verá en la pestaña del navegador, para agregar un título a la página se utilizan <h1></h1>. También se agrega un logo con el título y estilos de fuente, cabe mencionar que lo anteriormente corresponde a apariencia de la página, estos van





incluidos dentro del <head>, además el logo agregado es una imagen de tipo png, esta es guarda en una carpeta adicional llamada Imágenes y dicha carpeta se encuentra dentro de la carpeta Mapa hidrotermal, el proceso se muestra a continuación.

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">

  <!--Contenido formato de fuente-->
  <link rel="preconnect" href="https://fonts.googleapis.com">
  <link rel="preconnect" href="https://fonts.gstatic.com" crossorigin>
  <link href="https://fonts.googleapis.com/css2?family=Aboreto&display=swap" rel="stylesheet">

  <link rel="preconnect" href="https://fonts.googleapis.com">
  <link rel="preconnect" href="https://fonts.gstatic.com" crossorigin>
  <link href="https://fonts.googleapis.com/css2?family=Playfair+Display&display=swap" rel="stylesheet">

  <!--Contenido de la libreria Leaflet css-->
  <link rel="stylesheet" href="https://unpkg.com/leaflet@1.8.0/dist/leaflet.css"
  integrity="sha512-hoalWLoI8r4UuszCkZ5kL8vayOGVae1oxXe/2A4A06J9+580uKHDO3JdHb7NzwwzK5xr/Fs0W40kiNHxM9vyTtQ=="
  crossorigin=""/>

  <!--Relacionando el archivo CSS-->
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="mapa.css">

  <!--Reducir el tamaño de la imagen-->
  <style>.leaflet-popup-content img {width:25%;}</style>

  <!--Agregar un titulo a pestaña del navegador-->
  <title>Mapa de Manifestaciones hidrotermales de El Salvador</title>

  <!-- Agregar un titulo a la pagina creada-->
  <title>Mapa de Manifestaciones hidrotermales de El Salvador</title>

  <!--Agregar logo en en la pagina creada-->
  <header>
    <img src= "Imagenes/Logo_UES_blanco.png" width="35" id="logo_principal"/>
    <h1>Manifestaciones hidrotermales de El Salvador </h1>
  </header>

```

Así como también se agrega una lista de las manifestaciones hidrotermales mencionada en capítulos anteriores, en lista desplegada se pretender dar un redireccionamiento a la manifestación seleccionada, dicha lista se muestra a continuación.



```

<!--Lista desplegable para direccionamiento de los diferente puntos-->
<select name="select-location" id="select-location">
  <option value="-1">Seleccione un lugar</option>
  <option value="13.940556,-90.008639">Ahuachapan - Durazneno</option>
  <option value="13.963083,-89.95625">Ahuachapan - Los Toles</option>
  <option value="14.02795,-89.795708">Ahuachapan - San Lorenzo</option>
  <option value="14.013167,-89.908361">Ahuachapan - Los salitres</option>
  <option value="14.181191,-89.226364">Chalatenango - Agua caliente</option>
  <option value="14.181191,-89.226364">Chalatenango - Obrajuelo</option>
  <option value="14.157669,-89.133469">Chalatenango - El salitre</option>
  <option value="14.002527,-88.738676">Chalatenango - Nombre de Jesus</option>
  <option value="13.815217,-89.448183">La libertad - Agua caliente</option>
  <option value="13.480198,-87.862508">La Union - Conchagua</option>
  <option value="13.62125,-87.903654">La Union - Santa Rosa</option>
  <option value="13.667874,-87.795171">La Union - El Sauce</option>
  <option value="13.499691,-88.149739">San Miguel - Chilanguera</option>
  <option value="13.842176,-88.304210">San Miguel - Carolina</option>
  <option value="13.583267,-88.666572">San Vicente - Obrajuelo-Lempa</option>
  <option value="13.59747,-88.587188">San Vicente - Parras lempa</option>
  <option value="14.239807,-89.464824">Santa Ana - Guija</option>
  <option value="13.844217,-89.571558">Santa Ana - Cojutepeque</option>
  <option value="14.31065,-89.530261">Santa Ana - Metapan</option>
  <option value="14.086444,-89.457417">Santa Ana - Texistepeque</option>
  <option value="13.733422,-89.647069">Sonsonate - Caluco</option>
  <option value="14.105574,-89.069596">Chalatenango - El Paraiso</option>
  <option value="13.9285,-89.7946">Ahuachapan - Chipilapa</option>
  <option value="13.979188,-89.781486">Ahuachapan - Playon El Salitre</option>
  <option value="13.841623,-90.018128">Ahuachapan - La Ceiba</option>
  <option value="13.4519,-89.1873">La libertad - Tihuapa</option>
  <option value="13.5839,-87.8389">La Union - Pasaquina</option>
  <option value="13.85845,-88.23252">Morazan - San Isidro</option>
  <option value="13.511829,-88.348875">San Miguel - Chinameca</option>
  <option value="13.449963,-88.333300">San Miguel - Chambala</option>
  <option value="13.3103,-88.0607">San Miguel - Laguna Olomega</option>
  <option value="13.613775,-88.851891">San Vicente- Los infiernillos</option>
  <option value="14.02845,-89.441411">Santa Ana - Los Apoyos</option>
  <option value="14.002504,-89.46172">Santa Ana - Agua caliente</option>
  <option value="13.524726,-88.507234">Usulután - Geo Berlin</option>
  <option value="13.561125,-88.489273">Usulután - Canton San Simon</option>
  <option value="13.553299,-88.622941">Usulután - Las Burras</option>
  <option value="13.511891,-88.382821">Usulután - Jucuapa</option>
  <option value="13.704433,-89.275778">San Salvador - La olla/ Eco parque el Espino</option>
  <option value="13.67649,-89.1124">San salvador - changallo/guruchapa</option>
  <option value="13.915358,-89.817111">Ahuachapan - Los ausoles</option>
  <option value="13.903379,-89.816651">Ahuachapan - Cabaña los ausoles</option>
  <option value="13.904498,-89.822648">Ahuachapan - Termales de alicante</option>
  <option value="13.904114,-89.818674">Ausol mas grande de centroamerica</option>
  <option value="13.902208,-89.818807">Ahuachapan - Termales de santa teresa</option>
  <option value="13.9167,-89.75">Ahuachapan - Tortugero</option>
  <option value="13.91474,-89.757314">Ahuachapan - Los Ausoles de Atiquizaya</option>
  <option value="13.277517,-87.793793">La union - Conchagua/ Los hervideros</option>
  <option value="13.815213,-89.449531">Santa Ana - Termos del rio</option>
</select>

```

La lista anteriormente mostrada, contienen tanto el nombre como las coordenadas de las manifestaciones, esto para redireccionar y llevar al usuario al punto seleccionado.



Esta lista es creada en el archivo mapa.html, ahora bien, para que cada vez que se seleccione un lugar y sea redirigido a dicho punto seleccionado se agregan las siguientes líneas de código en el archivo mapa.js:

```
/**Redireccionamiento a la lista desplegable creada en el archivo map.html*/
document.getElementById('select-location').addEventListener('change', function(e){
  let coords = e.target.value.split(",");
  map.flyTo(coords,15);
})
```

El método `getElementById` su objetivo es que a través del Id de un objeto, trae el valor que tiene en ese momento, y el objeto que necesita es el “selec-location” que se creó en la lista del archivo mapa.html, que es el Id de la lista desplegable, a esto se le agrega un evento (“`addEventListener`”), el cual al cambiar se genera una función, en dicha función se crea una variable, la variable “coords” en el cual el valor que este como objetivo en la opción seleccionada en las lista desplegable, genere un Split, este Split generado separa latitud y longitud de la opción seleccionada y mediante `map.flyTo`, pide cuales son las coordenadas a donde será redireccionado y el zoom que este realizara (JohaGIS, 2021).

A la lista desplegable títulos, logo, fuente, color, etc. pueden ser editados de muchas más formas, pero no es el objetivo del capítulo en cuestión por lo que para su simplicidad se abordara únicamente la edición de las características antes mencionadas que se muestran a continuación.

```
/*Agregando fuerte de escritura*/
html{
  font-family: 'Playfair Display', serif;
}

/*Color y tipo de fuente*/
header{
  background-color: ■rgb(4, 139, 4);
  color: □rgb(255, 253, 253);
  font-family: 'Aboreto', cursive;
}

/*Tamaño y ubicacion de la fuente de escritura para titulo*/
header h1 {
  font-size: 1rem;
  text-align: left;
  padding: 1.5rem 4rem;
}

/*Ubicacion del logo*/
#logo_principal{
  margin: 0 auto;
  float: left;
  padding: 0.7rem 1rem;
}
```



Una vez agregadas las siguientes todas las líneas de código anteriores, se tiene el siguiente resultado:



Figura 91: Resultado obtenido, segunda prueba.

### 4.5.3. PROGRAMACION DEL BACKEND

Hasta el momento, se ha desarrollado el Frontend, la interfaz, es decir todo aquello que el usuario percibe en la navegación, en el caso en cuestión, el mapa, la lista desplegable, mini mapa, etc. Ahora bien, para almacenamiento y el procesamiento de datos se necesita el desarrollo del Backend, este es el encargado de administrar los datos.

#### 4.5.3.1. EL SERVIDOR

Para programar el Backend, este se hace directamente en el servidor, para el caso se programa en los servidores de la Universidad de El Salvador. Estos servidores tienen como sistema operativo Debian, Debian es un sistema operativo basado en Linux



adecuado para un amplio rango de dispositivos incluyendo portátiles, ordenadores de escritorio y servidores. Cabe mencionar que para efectos de pruebas también se utilizó un servidor primado, en el caso se utilizó Digital Ocean.

Por la configuración del sistema operativo de Debian, no posee una interfaz gráfica por lo que, para editar, ordenar, realizar procesos, etc., se realiza mediante consola, para facilitar se realiza un enlace mediante SSH, mediante Visual Studio Code. SSH permite acceder a líneas de comandos, ejecutar comandos e iniciar sesión y realizar tareas de sysadmin de forma remota y segura, si bien la mayor parte tanto de instalación, ejecución y creación siempre se realiza mediante comandos en consola como se verá más adelante, hacer la conexión mediante SHH, ayuda y facilita en gran medida la edición en cuanto a la escritura de los archivos, para ello realiza la siguiente configuración:



*Figura 92: Instalación de extensión Remote SSH*

Se selecciona la opción de extensiones enmarcada en cuadro azul, se procede a buscar la extensión remote-SSH y posteriormente su instalación. Una vez instalada aparece en el cuadro superior izquierdo el icono de una computadora, como se muestra a continuación.

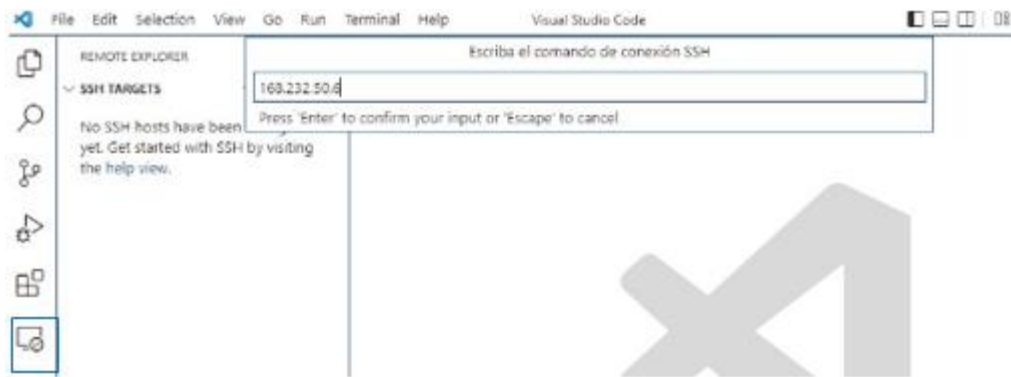


Figura 93: Enlace SSH al servidor de la Universidad de El Salvador.

Al seleccionar la extensión, y realizar un nuevo enlace, este necesitara del usuario y la IP al que desea enlazarse, posteriormente procederá a pedir la contraseña al enlace, una vez realizado el enlace se tendrá acceso al servidor mediante Visual Studio Code, lo primero a realizar será el subir los archivos creados anteriormente, esto se logra presionando F1 y en la barra desplegable escribe: terminal y selecciona crear new terminal, una vez seleccionado se tendrá acceso al servidor mediante la terminal de Visual Studio Code, en la terminal se introduce el siguiente comando:

```
$ scp -r /home/Mapa Hidrotermal/carpeta IP/home/usuario/Leaflet
```

El comando anterior copia el contenido de la carpeta llamada Mapa Hidrotermal, carpeta que se encuentra localmente y guarda en la carpeta llamada Leaflet, por motivos de diferenciación entre la carpeta local y la carpeta en el servidor se le decide en cambiar el nombre, cabe mencionar que es necesario copiar cada uno de los archivos creados desde un principio así como las carpetas descargadas que contiene la librería Leaflet, esto para el buen funcionamiento de la página, una vez copiada la carpeta al servidor aparecerá de la siguiente manera.

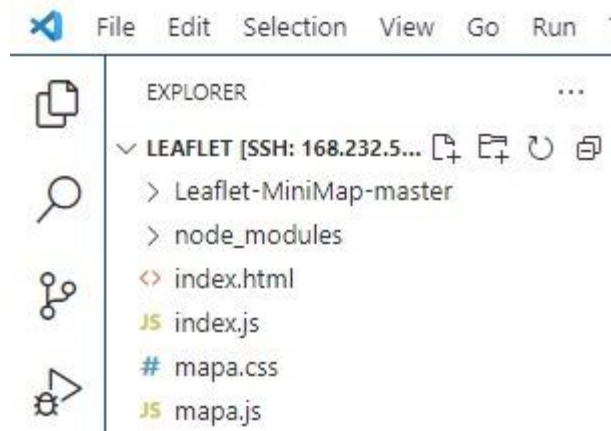


Figura 94: Carpeta Leaflet con los archivos creados, dentro del servidor de la universidad.

#### 4.5.3.2. NODE JS

Una vez la carpeta con los archivos adjuntos se encuentre en el servidor se procede a la instalación de Node.js, este es el programa que nos permite decirle al computador que es lo que tiene que hacer a través del lenguaje de programación de Java Script. Node.js nos permite ejecutar Java Script para crear aplicaciones de servidor. Para instalación de Node.js se logra mediante la siguiente línea de comando.

```
$ sudo apt update
```

```
$ sudo apt install nodejs
```

```
$ sudo apt install npm
```

Ingresado los comandos este procederá a instalar el paquete de node.js, también se instala el paquete npm, este permite la instalación de módulos como se verá más adelante, una vez instalado este paquete se procede a crear un archivo package.json, este archivo es de suma importancia porque instala las dependencias en el computador, además es un archivo que describe el proyecto, esto se logra mediante la siguiente línea de comandos.

```
$ npm init -y
```



Una vez creado el `package.json` se procede a la instalación de los módulos a utilizar, estos son el módulo 'express' y el módulo 'pg', el módulo express es un framework de Node.js, el módulo 'pg' sirve para la coerción de datos entre Java Script y PostgreSQL como se verá más adelante (Fazt Code, 2019). Para la instalación de estos módulos se utiliza el comando siguiente:

```
$ npm install express pg
```

Instalados los módulos y paquetes anteriores, la carpeta tiene lo siguientes archivos en su contenido:

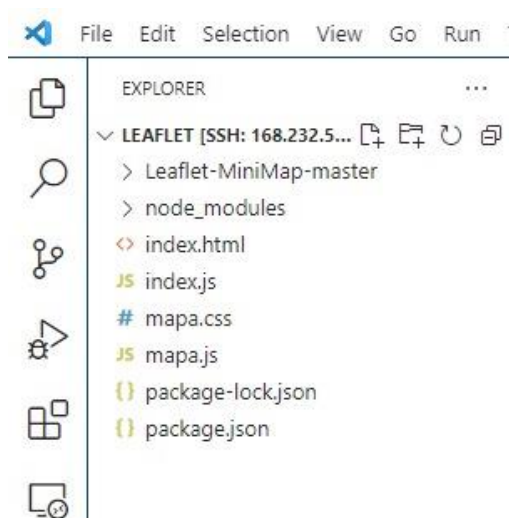


Figura 95: Contenido carpeta Leaflet en el servidor.

#### 4.5.3.3. POSTGRES SQL

Una vez instaladas las dependencias de Java Script, se procede a la instalación de PostgreSQL, este es un gestor de bases de datos, es donde guardaremos cada uno de los puntos con sus respectivos datos anteriormente analizados, para la instalación de se utilizan los siguientes comandos.

```
$ sudo apt update
```

```
$ sudo apt install postgresql postgresql-contrib
```





Cabe mencionar que, para la creación de una base de datos, así como las tablas y contenido de ellas, esta creación e introducción de datos solamente es posible a través de consola.

#### 4.5.3.4. PROGRAMANDO EL BACKEND

Instalado lo anterior se procede a la programación de los archivos, el enlace SSH ayuda a facilitar este tipo de edición desde una interfaz gráfica gracias a Visual Studio Code, en el caso de la creación de la base de datos, ya que esta es introducida mediante comandos, se crea un archivo .SQL este almacenara la sentencia que hay que introducir mediante consola, dicho archivo no es necesario crearlo en el servidor puede ser de manera local, para le caso se crea una archivo con el nombre “db.sql” para plasmar la sentencia que hay que seguir a la hora de ingresar dichos datos al servidor, ya que este se introduce mediante comandos. La sentencia con la que se crea dicha base de datos, así como la tabla y el ingreso de la información se presenta a continuación.

```
--Crear base de datos--
CREATE DATABASE hidrotermal_puntos;

--Crear tabla coords--
CREATE TABLE coords(
  id SERIAL PRIMARY KEY,
  name VARCHAR (1100),
  C1 FLOAT,
  C2 FLOAT,
  C3 FLOAT,
  C4 FLOAT,
  Tmin FLOAT,
  Tmax FLOAT,
  Tprom FLOAT,
  Emin FLOAT,
  Emax FLOAT,
  Amin FLOAT,
  Amax FLOAT,
  Vmin FLOAT,
  Vmax FLOAT,
  MWE FLOAT,
  Cer FLOAT,
  Observacion VARCHAR(1100),
  Fuente VARCHAR (1100)
);
```



Se crea la base de datos llamada "hidrotermal\_puntos", en dicha base de datos creamos una tabla, esta tabla almacenara la información listada en cada punto analizados anteriormente, en esta se introducirán las columnas de información que hay que llenar, la tabla creada llamada "coords", dicha tabla pedirá el ingreso de la siguiente información: el nombre del reservorio, Las coordenada, longitud y latitud, temperatura min, temperatura máxima, temperatura promedio, espesor min, espesor máximo, área min, área máxima, volumen min, volumen máximo, energía y certeza en ese orden, se agregan además también para los casos en donde no se tiene mayor información acerca de la manifestación, una observación del punto así como fuente de donde se obtuvo dichos datos. Por la magnitud de los datos e información ingresada, dicha tabla será referenciada en el apartado de anexos, así como también cada el resultado final del contenido de cada archivo creado anteriormente.

Para introducir todo lo anterior explicado a PostgreSQL tenemos que acceder a este, por lo que en la terminal de Visual estudio Code, que esta enlazada a la terminal del servidor de la Universidad, se introduce el comando siguiente:

```
sudo -u postgres psql
```

Una vez accedido a PostgreSQL con el comando anterior, se comienza a introducir cada una de las sentencias del código antes detallado, es decir primero creamos la base de datos con el comando CREATE DATABASE, con el nombre de la base de datos y se presiona enter.

```
root@ubuntu-s-1vcpu-1gb-nyc1-01:~# sudo sudo -u postgres psql
could not change directory to "/root": Permission denied
psql (14.5 (Ubuntu 14.5-0ubuntu0.22.04.1))
Type "help" for help.

postgres=# CREATE DATABASE hidrotemal_puntos;
```



Figura 96: Creación de la base de datos llamada hidrotermal\_puntos.

Para confirmar la creación de la base de datos se escribe el siguiente comando: \l para mostrar las bases de datos creadas y almacenadas en PostgreSQL como se muestra a continuación.

```
postgres=# \l
          List of databases
-----+-----+-----+-----+-----+-----
 Name      | Owner   | Encoding | Collate | Ctype   | Access privileges
-----+-----+-----+-----+-----+-----
 hidrotermal_puntos | postgres | UTF8     | C.UTF-8 | C.UTF-8 |
 postgres    | postgres | UTF8     | C.UTF-8 | C.UTF-8 |
 puntos      | postgres | UTF8     | C.UTF-8 | C.UTF-8 |
 template0   | postgres | UTF8     | C.UTF-8 | C.UTF-8 | =c/postgres +
             |         |         |         |         | postgres=CTc/postgres
 template1   | postgres | UTF8     | C.UTF-8 | C.UTF-8 | =c/postgres +
             |         |         |         |         | postgres=CTc/postgres
 volcanes    | postgres | UTF8     | C.UTF-8 | C.UTF-8 |
 (6 rows)

postgres=#
```

Figura 97: Base de datos en PostgreSQL.

Una vez creada la base de datos se procede a crear las tablas dentro dicha base, para ello, se ingresa a la base de datos creada, es decir a la base de datos “hidrotermal\_puntos” esto se realiza ingresando el siguiente comando:

```
\c hidrotermal_puntos
```

y presionando enter, esto realiza la conexión a la base de datos, una vez conectado a dicha base se crea cada tabla anteriormente mostrada de la siguiente forma:



```

postgres=# \c hidrotermal_puntos
You are now connected to database "hidrotermal_puntos" as user "postgres".
hidrotermal_puntos=# CREATE TABLE coords(
    id SERIAL PRIMARY KEY,
    name VARCHAR (1100),
    C1 FLOAT,
    C2 FLOAT,
    C3 FLOAT,
    C4 FLOAT,
    Tmin FLOAT,
    Tmax FLOAT,
    Tprom FLOAT,
    Emin FLOAT,
    Emax FLOAT,
    Amin FLOAT,
    Amax FLOAT,
    Vmin FLOAT,
    Vmax FLOAT,
    MWE FLOAT,
    Cer FLOAT,
    Observacion VARCHAR(1100),
    Fuente VARCHAR (1100)
);
CREATE TABLE
hidrotermal_puntos=# █

```

*Figura 98: Base de datos*

Se selecciona la sentencia de Código creada en el archivo db.sql, se realiza la copia de este y se coloca en la consola como se muestra anteriormente, al presionar enter, se crea la tabla "coords", para ingresar los valores a dicha tabla creada, se selecciona los datos en el archivo db.sql y se coloca en la consola como se muestra a continuación.



```

hidrotermal_puntos# INSERT INTO coords(name, C1, C2, C3, C4, Tain, Tmax, Tprom, Emin, Emax, Amin, Amax, Vmin, Vmax, MME, Cer, Observacion, Fuente) VALUES
('Ahuachapán - Durazno',13.940556,-90.008639,0,0,0,118,140,129,500,1000,2,2,5,1,4,15,12,47, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),AITE TABLE
('Ahuachapán - Los Toles',13.963083,-89.95625,0,0,0,100,150,125,500,1000,2,2,5,1,2,5,16,6,24, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),ahuachapán
('Ahuachapán - Durazno',13.940556,-90.008639,0,0,0,118,140,129,500,1000,2,2,5,1,4,15,12,47, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),ahuachapán
('Ahuachapán - San Lorenzo',14.02795,-89.795708,0,0,0,130,160,145,500,1000,2,2,5,1,2,5,16,0, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),ahuachapán
('Ahuachapán - Los Toles',13.963083,-89.95625,0,0,0,100,150,125,500,1000,2,2,5,1,2,5,16,6,24, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),ahuachapán
('Ahuachapán - Los salitres',14.013167,-89.908361,0,0,0,110,135,123,500,1000,2,2,5,1,2,5,14,13,71, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),apan
('Ahuachapán - San Lorenzo',14.02795,-89.795708,0,0,0,130,160,145,500,1000,2,2,5,1,2,5,16,0, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),Chalatenango
('Chalatenango - Agua caliente',13.807785,-89.402759,0,0,0,80,98,88,500,1000,2,6,1,6,0,0, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),ahuachapán
('Ahuachapán - Los salitres',14.013167,-89.908361,0,0,0,110,135,123,500,1000,2,2,5,1,2,5,14,13,71, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),Chalatenango
('Chalatenango - Obrajuelo',14.181191,-89.226354,0,0,0,80,98,89,500,1000,2,6,1,6,0,0, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),Chalatenango
('Chalatenango - Agua caliente',13.807785,-89.402759,0,0,0,80,98,88,500,1000,2,6,1,6,0,0, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),Chalatenango
('Chalatenango - El salitre',14.157669,-89.133469,0,0,0,50,80,65,500,1000,2,6,1,6,14,0, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),Chalatenango
('Chalatenango - Nombre de Jesus',14.002527,-88.738676,0,0,0,80,100,140,500,1000,2,6,1,6,44,0, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),r'),
('La Libertad - Agua caliente',13.8691667,-89.2577778,0,0,0,120,140,130,500,1000,2,2,5,1,2,5,15,13,18, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),
('La Unión - Conchagua',13.480198,-87.862508,0,0,0,180,250,200,500,1400,9,15,4,5,21,103,3,92, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),
('La Unión - Santa Rosa',13.62125,-87.903654,0,0,0,100,140,120,500,1000,2,2,1,1,21,144,1,90, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),
('La Unión - El Sauce',13.667874,-87.795171,100,0,0,0,120,110,500,1000,2,10,1,10,46,0, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),r'),
('San Miguel - Chilanguera',13.499691,-88.149739,0,0,0,137,225,181,500,1100,5,12,2,5,13,2,67,5,5, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),
('San Miguel - Carolina',13.842176,-88.304210,0,0,0,100,180,140,500,1000,2,2,5,1,2,5,19,5,95, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),r'),
('San Vicente - Obrajuelo-Lempa',13.583267,-88.666572,0,0,0,132,200,166,500,1000,2,40,1,40,157,0, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),
('San Vicente - Parras Lempa',13.59747,-88.587188,0,0,0,132,200,166,500,1000,2,40,1,40,67,0, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),de El Salvador
),
('Santa Ana - Guija',14.239807,-89.464824,0,0,0,90,130,110,500,1000,2,2,5,1,2,5,13,8,89, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),r'),
('Santa Ana - Cojutepeque',13.844217,-89.571558,0,0,0,200,268,234,500,2000,2,10,2,5,20,157,3,15, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),a Ana
('Santa Ana - Guija',14.239807,-89.464824,0,0,0,90,130,110,500,1000,2,2,5,1,2,5,13,8,89, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),
('Santa Ana - Metapan',14.31065,-89.530261,0,0,0,90,130,110,500,1000,2,16,1,2,13,8,89, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),alva
('Santa Ana - Toxistepeque',14.086444,-89.457417,0,0,0,90,120,105,500,1000,2,2,5,1,2,5,12,9,72, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),r'),
('Santa Ana - Metapan',14.31065,-89.530261,0,0,0,90,130,110,500,1000,2,16,1,2,13,8,89, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),
('Sonsonate - Caluco',13.734322,-89.647069,0,0,0,100,132,116,500,1000,2,2,5,1,2,5,14,7,83, 'Completo','LaGeo (2010)', Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador
),

```

Figura 99: Introducción de los datos obtenidos de las diferentes manifestaciones en la tabla “coords”

Presionando enter se agrega la lista de datos a la tabla “coords”, como se observa en la figura anterior, los datos obtenidos son demasiados extensos como para mostrarlos adecuadamente por lo se reitera que dicha información está disponible en el apartado de anexos. Creada la base de datos y tablas respectivamente en PostgreSQL, se procede con la programación para consumir dicha base de datos creada y que esta se agregue al mapa.

En el archivo index.js creado de primera instancia, se agrega la sentencia para la consulta de la base de datos esto mediante la siguiente sentencia de código:

```

//Conexion a Postgres

const {Client} = require('pg');
const client = new Client({
  user: 'postgres',
  host: 'localhost',
  database: 'hidrotermal_puntos',
  password: '12345',
  port: 5432,
});
client.connect()

```

Utilizando el módulo “pg” instalado previamente, se realiza la conexión a PostgreSQL, como parámetros es necesario ingresar el usuario al que desea conectarse, por defecto PostgreSQL tiene de usuario “postgres” (Michael Stonebraker, 1996), en



dicho usuario se hace una consulta local a la base de datos “hidrotermal\_puntos” creada con anterioridad, también es necesario el ingreso de una contraseña, si es que se creó una al inicio de su instalación para el caso la contraseña para acceder a PostgreSQL es “12345”.

Continuando se utiliza el módulo “express” para la configuración de los “Middlewares” necesario, en el caso se utilizaron los siguientes “Middlewares”:

```
//Configuracion de los Middlewares
app.use(express.json())
app.use(function (req, res, next) {
  // Sitio web que desea permitir que se conecte
  res.setHeader('Access-Control-Allow-Origin', '**');

  // Solicite los métodos que desea permitir
  res.setHeader('Access-Control-Allow-Methods', 'GET, POST, OPTIONS, PUT, PATCH, DELETE');

  // Encabezados de solicitud que desea permitir
  res.setHeader('Access-Control-Allow-Headers', 'X-Requested-With,content-type');

  // Estabezado verdadero si necesita que el sitio web incluya cookies en las solicitudes enviadas a la API (por ejemplo, en caso de que use sesiones)
  res.setHeader('Access-Control-Allow-Credentials', true);

  // Pasar a la siguiente capa de middleware
  next();
});

app.get('/', (req, res) => {
  takeData(res)
});
```

Una vez configurado los “Middlewares” se realiza la consulta a la tabla almacenada en la base de datos, como se muestra a continuación.

```
//routing: Seleccion de la tabla coords
async function takeData(res){
  const ans = await client.query('SELECT * FROM coords;')
  res.json(ans.rows)
}

//Muestra en pantalla la conexion en el puerto 443
app.listen (443, () =>{
  console.log('Server on port 443')
});
```

Una vez hecha la consulta a la tabla “coords” esta se muestra en el puerto 443, y tenemos un mensaje en consola el cual nos indica que esta funcionando en el puerto 443, para que esto tenga funcionalidad, el archivo es ejecutado con el siguiente comando:

**node index.js**

Cabe mencionar que para la ejecución de dichos archivos es necesario estar en la carpeta donde se encuentran los archivos para que se realiza dicha ejecución, una vez



ejecutado el archivo se procede acceder a la IP para ver el resultado de la tabla mostrada en el puerto 443 como se muestra a continuación.

```

[{"id":1,"name":"Ahuachapán - Durazneno","c1":13.940556,"c2":-90.008639,"c3":0,"c4":0,"tmin":118,"tmax":140,"tprom":129,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":2.5,"vmin":1,"vmax":4,"mwe":15,"cer":12.47,"observacion":"Completo"},
{"id":2,"name":"Ahuachapán - Los Toles","c1":13.963083,"c2":-89.95625,"c3":0,"c4":0,"tmin":100,"tmax":150,"tprom":125,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":2.5,"vmin":1,"vmax":2.5,"mwe":16,"cer":6.24,"observacion":"Completo"},
{"id":3,"name":"Ahuachapán - San Lorenzo","c1":14.02295,"c2":-89.795708,"c3":0,"c4":0,"tmin":130,"tmax":160,"tprom":145,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":2.5,"vmin":1,"vmax":2.5,"mwe":16,"cer":0,"observacion":"Completo"},
{"id":4,"name":"Ahuachapán - Los salitres","c1":14.013167,"c2":-89.908361,"c3":0,"c4":0,"tmin":110,"tmax":135,"tprom":123,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":2.5,"vmin":1,"vmax":2.5,"mwe":14,"cer":13.71,"observacion":"Completo"},
{"id":5,"name":"Chalatenango - Agua caliente","c1":14.181191,"c2":-89.226364,"c3":0,"c4":0,"tmin":80,"tmax":98,"tprom":88,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":6,"vmin":1,"vmax":6,"mwe":0,"cer":0,"observacion":"Completo"},
{"id":6,"name":"Chalatenango - Obrajuelo","c1":14.181191,"c2":-89.226364,"c3":0,"c4":0,"tmin":80,"tmax":98,"tprom":88,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":6,"vmin":1,"vmax":6,"mwe":0,"cer":0,"observacion":"Completo"},
{"id":7,"name":"Chalatenango - El salitre","c1":14.157669,"c2":-89.133469,"c3":0,"c4":0,"tmin":50,"tmax":80,"tprom":65,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":6,"vmin":1,"vmax":6,"mwe":14,"cer":0,"observacion":"Completo"},
{"id":8,"name":"Chalatenango - Hombres de Jesús","c1":14.002527,"c2":-88.738676,"c3":0,"c4":0,"tmin":80,"tmax":100,"tprom":140,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":6,"vmin":1,"vmax":6,"mwe":14,"cer":0,"observacion":"Completo"},
{"id":9,"name":"La libertad - Agua caliente","c1":13.815217,"c2":-89.448183,"c3":0,"c4":0,"tmin":120,"tmax":140,"tprom":130,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":2.5,"vmin":1,"vmax":2.5,"mwe":15,"cer":0,"observacion":"Completo"},
{"id":10,"name":"La Unión - Conchagua","c1":13.480198,"c2":-87.862508,"c3":0,"c4":0,"tmin":100,"tmax":250,"tprom":200,"emin":500,"emax":1400,"amin":9,"amax":15,"vmin":4.5,"vmax":21,"mwe":103,"cer":13.92,"observacion":"Completo"},
{"id":11,"name":"La Unión - Santa Rosa","c1":13.62125,"c2":-87.903654,"c3":0,"c4":0,"tmin":100,"tmax":140,"tprom":120,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":21,"vmin":1,"vmax":21,"mwe":144,"cer":1.9,"observacion":"Completo"},
{"id":12,"name":"La Unión - El Sauce","c1":13.607874,"c2":-87.795171,"c3":0,"c4":0,"tmin":80,"tmax":120,"tprom":110,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":10,"vmin":1,"vmax":10,"mwe":46,"cer":0,"observacion":"Completo"},
{"id":13,"name":"San Miguel Chilanguera","c1":13.499591,"c2":-88.149739,"c3":0,"c4":0,"tmin":137,"tmax":225,"tprom":181,"emin":500,"emax":1100,"amin":5,"amax":12,"vmin":2.5,"vmax":13.2,"mwe":67,"cer":15.5,"observacion":"Completo"},
{"id":14,"name":"San Miguel Carolina","c1":13.842176,"c2":-88.30421,"c3":0,"c4":0,"tmin":100,"tmax":180,"tprom":140,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":2.5,"vmin":1,"vmax":2.5,"mwe":19,"cer":15.95,"observacion":"Completo"},
{"id":15,"name":"San Vicente - Obrajuelo Lempa","c1":13.583227,"c2":-88.66572,"c3":0,"c4":0,"tmin":132,"tmax":200,"tprom":166,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":40,"vmin":1,"vmax":40,"mwe":157,"cer":0,"observacion":"Completo"},
{"id":16,"name":"San Vicente - Parras Lempa","c1":13.59747,"c2":-88.587188,"c3":0,"c4":0,"tmin":132,"tmax":200,"tprom":166,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":40,"vmin":1,"vmax":40,"mwe":67,"cer":0,"observacion":"Completo"},
{"id":17,"name":"Santa Ana - Guija","c1":14.239887,"c2":-89.464824,"c3":0,"c4":0,"tmin":90,"tmax":130,"tprom":110,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":2.5,"vmin":1,"vmax":2.5,"mwe":13,"cer":8.89,"observacion":"Completo"},
{"id":18,"name":"Santa Ana - Cojutepeque","c1":13.844217,"c2":-89.571558,"c3":0,"c4":0,"tmin":200,"tmax":268,"tprom":234,"emin":500,"emax":2000,"amin":2,"amax":10,"vmin":2.5,"vmax":20,"mwe":157,"cer":13.15,"observacion":"Completo"},
{"id":19,"name":"Santa Ana - Metapan","c1":14.31065,"c2":-89.530261,"c3":0,"c4":0,"tmin":90,"tmax":130,"tprom":110,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":16,"vmin":1,"vmax":2,"mwe":13,"cer":8.89,"observacion":"Completo"},
{"id":20,"name":"Santa Ana - Texistepeque","c1":14.086444,"c2":-89.457417,"c3":0,"c4":0,"tmin":90,"tmax":120,"tprom":105,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":2.5,"vmin":1,"vmax":2.5,"mwe":12,"cer":9.72,"observacion":"Completo"},
{"id":21,"name":"Somotillo - Caluco","c1":13.734822,"c2":-89.647069,"c3":0,"c4":0,"tmin":100,"tmax":132,"tprom":116,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":2.5,"vmin":1,"vmax":2.5,"mwe":14,"cer":17.83,"observacion":"Completo"},
{"id":22,"name":"Chalatenango - El Paraiso","c1":14.105574,"c2":-89.068566,"c3":0,"c4":0,"tmin":100,"tmax":126,"tprom":113,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":4,"vmin":2,"vmax":4,"mwe":10,"cer":13.89,"observacion":"Completo"},
{"id":23,"name":"Separación - Chiplapa","c1":0,"c2":0,"c3":13.9285,"c4":0,"tmin":0,"tmax":0,"tprom":0,"emin":0,"emax":0,"amin":0,"amax":0,"vmin":0,"vmax":0,"mwe":0,"cer":0,"observacion":"Separación"},
{"id":24,"name":"Ahuachapán - Playón El Salitre","c1":0,"c2":0,"c3":13.973188,"c4":0,"tmin":0,"tmax":0,"tprom":0,"emin":0,"emax":0,"amin":0,"amax":0,"vmin":0,"vmax":0,"mwe":0,"cer":0,"observacion":"No se encontraron coordenadas exactas, se fijó el marcador en el punto más cercano conocido. Se sabe que actualmente es zona de reyección de Lago de Ahuachapán. Fuente: Inventario Geodérmico de El Salvador 2010."},
{"id":25,"name":"Ahuachapán - Playón El Salitre","c1":0,"c2":0,"c3":13.973188,"c4":0,"tmin":0,"tmax":0,"tprom":0,"emin":0,"emax":0,"amin":0,"amax":0,"vmin":0,"vmax":0,"mwe":0,"cer":0,"observacion":"No se encontraron coordenadas exactas, se fijó el marcador en el punto más cercano conocido. Se sabe que actualmente es parte del C.G. de Ahuachapán y está bajo explotación. Fuente: Inventario Geodérmico de El Salvador 2010."}

```

Figura 100: Tabla de datos “coords” mostrada en el puerto 443 del servidor.

Para agregar dichas tablas y el contenido de ellas al mapa creado, en el archivo creado mapa.js se agregan las siguientes sentencias de código:

```

/**Lectura de URL Completo */
function dataBaseReadCompleto(){
    fetch(uriCompleto)
        .then(response => response.json())
        .then (data => {
            queryCompleto(data)
        })
        .catch((err)=>console.log(err))

    setTimeout(()=> dataBaseReadCompleto(), 1000)
}

```



```

/**Lectura de URL Incompleto */
function dataBaseReadIncompleto(){
    fetch(urlIncompleto)
        .then(response => response.json())
        .then (data => {
            queryIncompleto(data)
        })
        .catch((err)=>console.log(err))
    setTimeout(()=> dataBaseReadIncompleto(), 1000)
}

```

Se crean las función “urlCompleto” y “UrlIncompleto” esto para la diferenciación entre los puntos hidrotermales con sus datos e información completa con los puntos en los que solo se tiene ya se mención o comentarios acerca de dicha manifestación, Para leer la URL, se utiliza la API Fetch (Brenda Eich, 1995), esta proporciona una forma fácil y lógica de obtener recursos de forma asíncrona por la red. Realizada la consulta de los datos en el puerto, es necesario que dicha información sea agregada a al mapa, por lo que se realiza la siguiente sentencia:

```

/**Marker completo */
var marker = []
var marker1 =[0]
var previosMarker=[]
var less = 0

/**Marker incompleto */

var markerI = []
var marker1I =[0]
var previosMarkerI=[]
var lessI = 0

/**Variable para el cambio de color del marcador */
var redIcon = new L.Icon({
    iconUrl: 'https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f2/678111-map-marker-512.png',
    iconSize: [38, 45],
    iconAnchor: [12, 41],
    popupAnchor: [1, -34],
    shadowSize: [41, 41]
});

```

Primero se crean las variables a utilizar para la sentencia de cada uno de los puntos a orientar en el mapa, también agregado a eso se coloca el color, tamaño, anchura de un marcado, esto para diferenciar las manifestaciones donde se tiene mayor información de las que solo se tiene mención de ellas, teniendo la primera un marcador azul y la





segunda un marcador rojo. Para la ubicación de las coordenadas, así como el mostrar la información al hacer clic en algún marcador se realiza la siguiente sentencia de código:

```

/**Funcion para extraer la base de datos de Postgres para los puntos que se tiene su informacion */
function queryCompleto(data){
  marker =[]
  for (let i =0; i<data.length; i++){
    | marker.push([data[i].c1,data[i].c2])
  }

  if (marker.length==marker1.length){
    for (let i; i<marker.length;i++){
      | if( marker [i] != marker1[i]){
      | | less= 1
      | }
    }
  } else {
    | less = 1
  }

  if(less == 1){
    for (let i=0; i<previosMarker.length;i ++){
      | map.removeLayer(previosMarker[i])
    }

    previosMarker =[]

    for (let i=0; i<marker.length;i ++){
      | previosMarker.push(0)
    }

    for (let i =0; i<marker.length; i++){
      | previosMarker [i]=L.marker(marker[i]).addTo(map)
      | previosMarker[i].bindPopup(`
      | <h1>${data[i].name} </h1>
      | <h3>Temp. Min: ${data[i].tmin} °C </h3>
      | <h3>Temp. Max: ${data[i].tmax} °C </h3>
      | <h3>Espesor Min: ${data[i].emin} m</h3>
      | <h3>Espesor Max: ${data[i].emax} m</h3>
      | <h3>Area Min: ${data[i].amin} km²</h3>
      | <h3>Area Max: ${data[i].amax} km²</h3>
      | <h3>Volumen Min: ${data[i].vmin} km³</h3>
      | <h3>Volumen Max: ${data[i].vmax} km³</h3>
      | <h3>Energia Estimada: ${data[i].mwe} MWE/25 años</h3>
      | <h3>Nivel de Certeza: ${data[i].cer} %/25 años</h3>
      | <h3>Fuente: ${data[i].fuente}</h3>`);
    }
    marker1 = marker
    less = 0
  }
}
}

```

La sentencia mostrada anteriormente toma de la tabla las coordenadas C1 y C2 respectivamente y las agrega al mapa base, así como también agrega la información que va desde el nombre donde se ubica el punto hidrotermal hasta la fuente proporcionada en el análisis de datos, esto sentencia corresponde específicamente a los datos de la



tabla en donde se encuentra la mayor información de las manifestaciones hidrotermales, para la manifestaciones en donde solamente se tiene poca información se realiza la siguiente sentencia:

```
function queryIncompleto(data){
  markerI =[]
  for (let i =0; i<data.length; i++){
    | markerI.push([data[i].c3,data[i].c4])
  }

  if (markerI.length==markerII.length){
    for (let i; i<markerI.length;i++){
      | if( markerI[i] != markerII[i]){
      | | lessI= 1
      | }
    }
  } else {
  | lessI = 1
  }

  if(lessI == 1){
  | for (let i=0; i<previosMarkerI.length;i++){
  | | map.removeLayer(previosMarkerI[i])
  | }

  previosMarkerI =[]

  for (let i=0; i<markerI.length;i++){
  | previosMarkerI.push(0)
  }

  for (let i =0; i<markerI.length; i++){
  | previosMarkerI[i]=L.marker(markerI[i],{icon:markerIcon}).addTo(map)
  | previosMarkerI[i].bindPopup(`
  | <h1>${data[i].name} </h1>
  | <h3>Observacion: ${data[i].observacion}</h3>
  | <img src = "https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c8/Logo_UES.jpg"></img>`);
  | }
  markerII = markerI
  lessI = 0
  }
}

dataBaseReadCompleto();
dataBaseReadIncompleto();
```

Cabe agregar que para la localización en cuanto a las coordenadas se toman los parámetros C3 y C4, así como también se agrega el logo de la universidad, tomada de la URL que se menciona en dicha sentencia, así como el cambio de los parámetros mostrados, ya que para dichas manifestaciones solamente se mencionan las observaciones y fuente de información.



#### 4.5.4. SERVIDOR APACHE

Para lograr la comunicación entre el servidor y el cliente y que esta comunicación sea fluida y constante se necesita de un servidor para el caso se utiliza Apache, este es un servidor web de código abierto y de uso gratuito y su funcionalidad es que cuando un usuario haga una petición HTTP a través de navegador para entrar a una web o URL específica, Apache devuelva la información solicitada a través del protocolo HTTP (Robert McCool, 1995). Apache está disponible dentro de los repositorios de software predeterminados de Debian, por lo que para su uso en los servidores de la universidad este se encontraba instalado, pero para la instalación de este en sistemas operativos Debian, Ubuntu o Linux, en la terminal se procede a introducir los siguientes comandos.

```
sudo apt update
```

```
sudo apt install apache2
```

Una vez instalado Apache, se realiza la configuración host virtual, esto para alojar el dominio de la pagina web a realiza, cabe mencionar que el dominio ya estaba establecido por la escuela de ingeniería eléctrica de la Universidad de El Salvador, el dominio para el caso es: <http://geociencia.fia.ues.edu.sv/>, el dominio es una dirección web compuesta por un nombre y una extensión de dominio que ayuda al usuario a encontrar un lugar en concreto, es decir un sitio web.

Para la configuración de host virtual por defecto Apache tiene habilitado un bloque de servidor que está configurado para proporcionar documentos del directorio /var/www/html (Digital Ocean Holdings, 2011). Para el caso y el buen funcionamiento de la pagina web, copiamos la carpeta creada Leaflet dentro de la estructura del directorio, de la siguiente manera.

```
cp -r Leaflet/ var/www
```

Con esto, se realiza una copia de la carpeta Leaflet y el contenido es agregado en la dirección /var/www, además de esto también es necesario el agregar permisos de root para ello se realiza la siguiente acción.



```
sudo chmod -R 755 /var/www/Leaflet
```

Continuando es necesario el cambiar el nombre del archivo mapa.html a index.html por protocolos de configuración predeterminados por el servidor apache, la capeta Leaflet que está en la dirección var/www/Leaflet contiene los siguientes archivos.

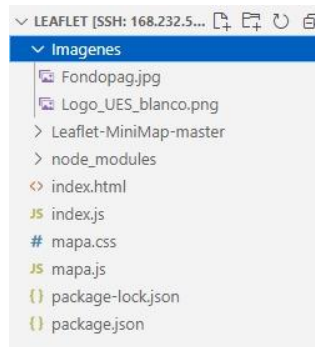


Figura 101: Contenido de carpeta Leaflet en la dirección var/www/Leaflet.

Para que Apache proporcione este contenido. Es necesario modificar la dirección por defecto con la que este trabaja, este archivo se encuentra en la siguiente dirección: /etc/apache2/sites-available/000-default.conf.

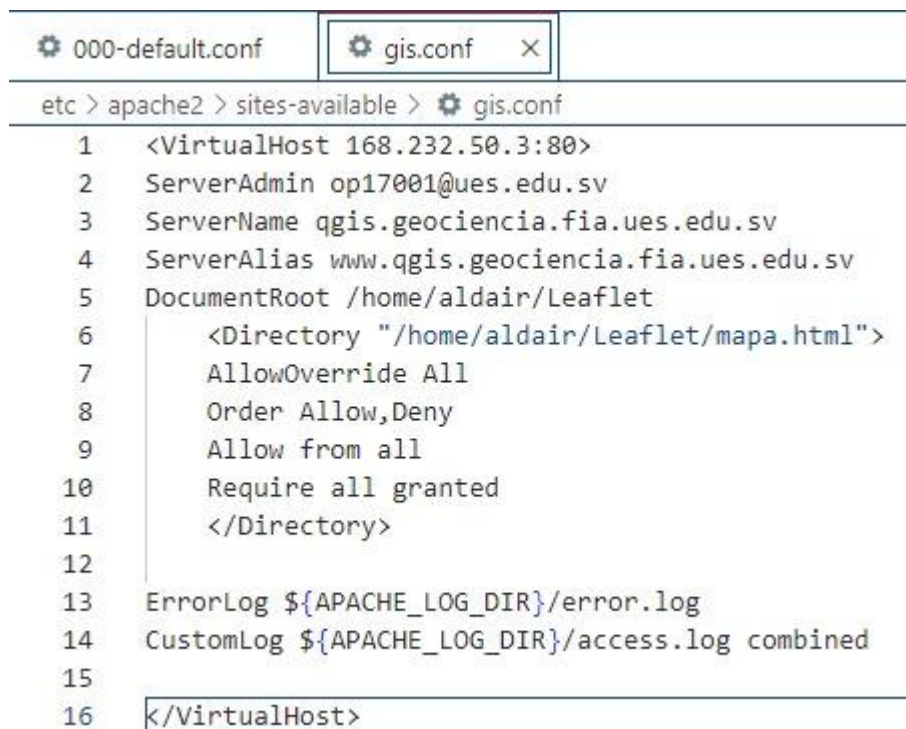
```
000-default.conf X
etc > apache2 > sites-available > 000-default.conf
1 <VirtualHost *:80>
2 # The ServerName directive sets the request scheme, hostname and port that
3 # the server uses to identify itself. This is used when creating
4 # redirection URLs. In the context of virtual hosts, the ServerName
5 # specifies what hostname must appear in the request's Host: header to
6 # match this virtual host. For the default virtual host (this file) this
7 # value is not decisive as it is used as a last resort host regardless.
8 # However, you must set it for any further virtual host explicitly.
9 #ServerName www.example.com
10
11 ServerAdmin webmaster@localhost
12 #DocumentRoot /var/www/html
13 DocumentRoot /var/www/Leaflet
14
15 # Available loglevels: trace8, ..., trace1, debug, info, notice, warn,
16 # error, crit, alert, emerg.
17 # It is also possible to configure the loglevel for particular
18 # modules, e.g.
19 #LogLevel info ssl:warn
20
21 ErrorLog ${APACHE_LOG_DIR}/error.log
22 CustomLog ${APACHE_LOG_DIR}/access.log combined
23
24 # For most configuration files from conf-available/, which are
25 # enabled or disabled at a global level, it is possible to
26 # include a line for only one particular virtual host. For example the
27 # following line enables the CGI configuration for this host only
28 # after it has been globally disabled with "a2disconf".
29 #Include conf-available/serve-cgi-bin.conf
30 </VirtualHost>
31
32 # vim: syntax=apache ts=4 sw=4 sts=4 sr noet
33
```

Figura 102: Configuración del archivo 000-default.conf.

Se realiza la configuración, por defecto se encuentra en el puerto 80, este puerto es de tráfico web normal no cifrado, este puerto también es habilitado en la mayoría de



servidores, por lo que al visitar el dominio este se dirija a la página web que está sonando en el puerto 80, también se realizan el cambio en cuanto a la ubicación de la carpeta para el caso la carpeta Leaflet, también se configura el archivo creado gis.conf, en donde agregamos el html para la funcionalidad del mapa, colocamos el dominio, así como también la ruta donde se encuentra el archivo html.



```
000-default.conf gis.conf
etc > apache2 > sites-available > gis.conf
1 <VirtualHost 168.232.50.3:80>
2 ServerAdmin op17001@ues.edu.sv
3 ServerName qgis.geociencia.fia.ues.edu.sv
4 ServerAlias www.qgis.geociencia.fia.ues.edu.sv
5 DocumentRoot /home/aldair/Leaflet
6 <Directory "/home/aldair/Leaflet/mapa.html">
7 AllowOverride All
8 Order Allow,Deny
9 Allow from all
10 Require all granted
11 </Directory>
12
13 ErrorLog ${APACHE_LOG_DIR}/error.log
14 CustomLog ${APACHE_LOG_DIR}/access.log combined
15
16 </VirtualHost>
```

Figura 103: Configuración del archivo creado gis.conf.

Una vez realizado estas modificaciones, se realiza un reinicio de apache con el siguiente comando.

```
sudo systemctl restart apache2
```

una vez realizado esto, ya es posible la visualización del contenido de la página web creada a través del dominio <http://geociencia.fia.ues.edu.sv/>.

#### 4.5.5. RESULTADOS



Los resultados obtenidos tanto del puerto en donde se muestra la tabla de la base de datos y el dominio de la página web se muestra a continuación.

```

[[{"id":1,"name":"Ahuachapan - Durazneno","c1":13.940556,"c2":89.008639,"c3":0,"c4":0,"tmin":118,"tmax":140,"tpron":129,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":2.5,"vmin":1,"vmax":4,"mme":15,"cer":12.47,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":2,"name":"Ahuachapan - Los Toles","c1":13.963083,"c2":89.95625,"c3":0,"c4":0,"tmin":100,"tmax":150,"tpron":125,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":2.5,"vmin":1,"vmax":16,"mme":16,"cer":16.24,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":3,"name":"Ahuachapan - San Lorenzo","c1":14.02795,"c2":89.795789,"c3":0,"c4":0,"tmin":130,"tmax":160,"tpron":145,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":2.5,"vmin":1,"vmax":2.5,"mme":16,"cer":13.71,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":4,"name":"Ahuachapan - Los salitres","c1":14.03107,"c2":89.908361,"c3":0,"c4":0,"tmin":110,"tmax":135,"tpron":123,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":2.5,"vmin":1,"vmax":2.5,"mme":14,"cer":13.71,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":5,"name":"Chalatenango - Agua caliente","c1":13.807785,"c2":89.402759,"c3":0,"c4":0,"tmin":80,"tmax":150,"tpron":88,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":6,"vmin":1,"vmax":6,"mme":9,"cer":9,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":6,"name":"Chalatenango - Obrajuelo","c1":14.281931,"c2":89.226364,"c3":0,"c4":0,"tmin":80,"tmax":150,"tpron":88,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":6,"vmin":1,"vmax":6,"mme":9,"cer":9,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":7,"name":"Chalatenango - El salitre","c1":14.157669,"c2":89.133469,"c3":0,"c4":0,"tmin":50,"tmax":80,"tpron":65,"emin":500,"emax":1400,"amin":2,"amax":6,"vmin":1,"vmax":6,"mme":14,"cer":9,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":8,"name":"Chalatenango - Hombre de Jesus","c1":14.00527,"c2":88.738676,"c3":0,"c4":0,"tmin":80,"tmax":100,"tpron":140,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":6,"vmin":1,"vmax":6,"mme":14,"cer":9,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":9,"name":"La libertad - Agua caliente","c1":13.860167,"c2":89.257778,"c3":0,"c4":0,"tmin":120,"tmax":160,"tpron":130,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":2.5,"vmin":1,"vmax":2.5,"mme":15,"cer":13.18,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":10,"name":"La Union - Conchagua","c1":13.480196,"c2":87.862508,"c3":0,"c4":0,"tmin":100,"tmax":250,"tpron":200,"emin":500,"emax":1400,"amin":9,"amax":15,"vmin":4.5,"vmax":21,"mme":103,"cer":3.92,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":11,"name":"La Union - Santa Rosa","c1":13.02125,"c2":87.903654,"c3":0,"c4":0,"tmin":100,"tmax":140,"tpron":120,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":21,"vmin":1,"vmax":21,"mme":144,"cer":1.9,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":12,"name":"La Union - El Sauce","c1":13.697874,"c2":87.795171,"c3":0,"c4":0,"tmin":80,"tmax":120,"tpron":110,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":10,"vmin":1,"vmax":10,"mme":146,"cer":1.9,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":13,"name":"San Miguel - Chilinguera","c1":13.499091,"c2":88.149739,"c3":0,"c4":0,"tmin":137,"tmax":225,"tpron":181,"emin":500,"emax":1100,"amin":5,"amax":12,"vmin":2.5,"vmax":13.2,"mme":67,"cer":5.5,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":14,"name":"San Miguel - Carolina","c1":13.842176,"c2":88.30421,"c3":0,"c4":0,"tmin":100,"tmax":180,"tpron":140,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":2.5,"vmin":1,"vmax":2.5,"mme":19,"cer":5.95,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":15,"name":"San Vicente - Obrajuelo-Lempa","c1":13.583267,"c2":88.666572,"c3":0,"c4":0,"tmin":132,"tmax":200,"tpron":166,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":40,"vmin":13,"vmax":140,"mme":157,"cer":10,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":16,"name":"San Vicente - Parras-Jempá","c1":13.59747,"c2":88.587188,"c3":0,"c4":0,"tmin":132,"tmax":200,"tpron":166,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":40,"vmin":13,"vmax":140,"mme":157,"cer":10,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":17,"name":"Santa Ana - Guija","c1":14.239807,"c2":89.464824,"c3":0,"c4":0,"tmin":50,"tmax":130,"tpron":110,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":2.5,"vmin":1,"vmax":2.5,"mme":13,"cer":18.89,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":18,"name":"Santa Ana - Cojutepeque","c1":13.844217,"c2":89.571558,"c3":0,"c4":0,"tmin":200,"tmax":300,"tpron":234,"emin":500,"emax":2000,"amin":2,"amax":10,"vmin":2.5,"vmax":20,"mme":157,"cer":13.15,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":19,"name":"Santa Ana - Metapan","c1":14.080444,"c2":89.457417,"c3":0,"c4":0,"tmin":90,"tmax":120,"tpron":105,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":2.5,"vmin":1,"vmax":2.5,"mme":12,"cer":19.72,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":20,"name":"Sonsonate - Caluco","c1":13.733422,"c2":89.647069,"c3":0,"c4":0,"tmin":100,"tmax":132,"tpron":116,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":2.5,"vmin":1,"vmax":2.5,"mme":14,"cer":7.83,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":21,"name":"Chalatenango - El Paraiso","c1":14.105574,"c2":89.605956,"c3":0,"c4":0,"tmin":100,"tmax":120,"tpron":113,"emin":500,"emax":1000,"amin":2,"amax":4,"vmin":2,"vmax":4,"mme":20,"cer":3.99,"observacion":"Completo","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico Nacional. Recursos Geotérmicos de El Salvador"}, {"id":22,"name":"Separacion","c1":0,"c2":0,"c3":0,"c4":0,"tmin":0,"tmax":0,"tpron":0,"emin":0,"emax":0,"amin":0,"amax":0,"vmin":0,"vmax":0,"mme":0,"cer":0,"observacion":"Separacion","fuente":"Separacion"}, {"id":24,"name":"Ahuachapan - Chipilanga","c1":0,"c2":0,"c3":13.9285,"c4":89.7946,"tmin":0,"tmax":0,"tpron":0,"emin":0,"amax":0,"amin":0,"amax":0,"vmin":0,"vmax":0,"mme":0,"cer":0,"observacion":"No se encontraron coordenadas exactas, se fijó el marcador en el punto más cercano conocido. Se sabe que actualmente es zona de reinyección de LaGeo de Ahuachapán.","fuente":"LaGeo (2010), Inventario Geotérmico

```

Figura 104: Contenido dirección IP:168.232.50.6:443.

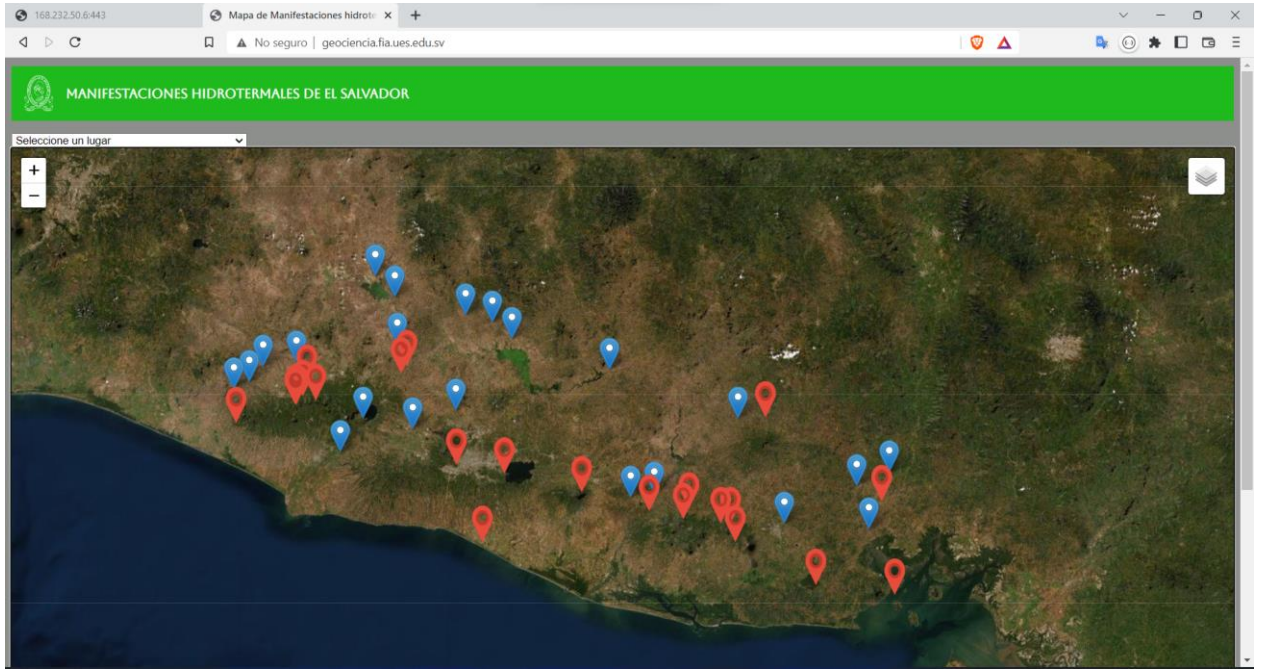


Figura 105: Contenido dominio <http://geociencia.fia.ues.edu.sv/>.



## CONCLUSIONES

- Basados en los resultados obtenidos se estiman que en El Salvador se encuentra un potencial eléctrico extraíble de aproximadamente 167.2899 MWe con una futura expansión de los sistemas hasta 264.0281 MWe en los 18 recursos geotérmicos mostrados en las tablas finales (categoría A y B).
- Los resultados son una estimación solamente no son exactos, debido a la naturaleza del método volumétrico puede haber muchas discrepancias ya que se basa en valores estimados de los parámetros geotérmicos. Aunque es muy utilizado en la industria debido a que se puede obtener una breve visión de lo que se puede extraer en las etapas muy tempranas en la exploración de un recurso geotérmico.
- Los resultados obtenidos en la tabla 1, se aproximan a los resultados obtenidos por la GEO en la tabla 9 del documento “Inventario junio 2010” y los resultados obtenidos de la tabla 2, tiene mucha variación debido a que los parámetros utilizados son solo una estimación ya que no se tiene mucha información de los recursos geotérmicos de categoría B, se recomienda realizar un estudio donde se obtengan las mediciones del área con el equipo adecuado y el análisis avanzado con el manejo de los parámetros.
- La librería GPPEVAL es muy útil para la estimación del potencial eléctrico debido a las herramientas que ofrece para un análisis profundo del recurso geotérmico, debido a esto es muy utilizado en las altas industrias como la GEO y otros organismos que se dedican al estudio de la Geociencias.



## BIBLIOGRAFÍA

- Amaya, A. (2013). *Calculo del potencial geotermico utilizando el metodo volumetrico*.
- Baba, K. S. (1975). *Assessment of geothermal resources of Japan: Proc. United States - Japan Geological Surveys Panel Discussion on the Assessment of Geothermal Resources*.
- Banwell, C. J. (1963). *Thermal energy from the earth's crust -- Introduction and Part I: New Zealand Jour. Geology anc Geophysics*.
- Bodvarsson. (1974). *Geothermal resource energetics: Geothermics*.
- Bodvarsson, G. (1972). *Thermal problems in the siting of reinjection*.
- Bodvarsson. (1951). *Report on the Hengil geothermal area: Jour. Engineers Assn*.
- Bolton, R. S. (1973). *Management of a geothermal field, in Armstead, H. C. H., Cod.), Geothermal Energy - Review of Research and Development*.
- Brenda Eich. (4 de diciembre de 1995). *JavaScript.com*. Obtenido de [www.javascript.com](http://www.javascript.com)
- Cataldi, R. (1974). *Potenzialita del campo/geotermico di Ahuachapan e stima della potenza ottenibile nell'area della attuale centrale: Unpub. rept. of ENEL Centro di Ricerca Geotermica*.
- Digital Ocean Holdings. (24 de junio de 2011). *Digital Ocean Documentation*. Obtenido de [www.docs.digitalocean.com](http://www.docs.digitalocean.com)
- Durr, F. (s.f.). *La Geología de El Salvador, un marco general*. Obtenido de <https://www.snet.gob.sv/Geologia/Deslizamientos/Documentos/Geologia-general/3-mapageo.htm>
- Fazt Code. (11 de octubre de 2019). *Nodejs & PostgreSQL REST API*. Obtenido de [www.youtu.be/7NfvC-gOcRc](http://www.youtu.be/7NfvC-gOcRc)
- JohaGIS. (10 de agosto de 2021). *Como crear mapas dinamicos con la API Leaflet*. Obtenido de [www.youtu.be/Vk2RSGSV84](http://www.youtu.be/Vk2RSGSV84)
- La Geo S.A. DE C.V. (2017). *Prospecto de emisión La Geo, S.A DE C.V*. El Salvador .
- La Geo, S.A DE C.V. (2010). *Inventario Geotermico Nacional* . El Salvador .
- MARN . (2020). *Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Obtenido de <https://marn.gob.sv/>
- McKelvey, V. E. (1972, 01 01). *Mineral resource estimates and public policy*. United States.
- Michael Stonebraker. (8 de julio de 1996). *PostgreSQL*. Obtenido de [www.postgresql.org](http://www.postgresql.org)
- Microsoft . (29 de Abril de 2015). *Visual Studio Code*. Obtenido de [www.code.visualstudio.com](http://www.code.visualstudio.com)





- Muffler, L. J. (1978, 09 12). *Methods for regional assessment of geothermal resources: Geothermics*.
- Nathenson, M. a. (1975). *Geothermal resources in Hydrothermal convection systems and conduction-dominated areas*.
- Pocasangre, C. &. (2018). *A Python-based stochastic library for assessing geothermal power potential using the volumetric method in a liquid-dominated reservoir*. *Geothermics*, 76, 164-176.
- Proyecto Debian. (16 de agosto de 1993). *Debian - The Universal Operating System*. Obtenido de [www.debian.org](http://www.debian.org)
- Renner, J. L. (1975). *Hydrothermal convection systems*.
- Robert McCool. (abril de 1995). *The Apache HTTP Server Project*. Obtenido de [www.apache.org](http://www.apache.org)
- Ruben H., F. C. (2020). *Geothermal energy availability Map*.
- Ryan Dahl. (27 de mayo de 2009). *Node.js*. Obtenido de [www.nodejs.org](http://www.nodejs.org)
- Sanyal, S. K. (2005). *Booking Geothermal Energy Reserves, Transaction, Geothermal Resources Council*.
- SCHIAIDT-THOMÉ, M. (1975). *The geology in the San Salvador area (El Salvador, Central America), a basis for City development and planning*. San Salvador, El Salvador.
- Truesdell, A. H., a. F. (1976). *Calculation of deep temperatures in geothermal systems from the chemistry of boiling spring waters of mixed origin: Proc. 2nd United Nations Symposium on Development and Use of Geothermal Resources*.
- UT. Unidad de Transacciones . (Enero de 2022). *Boletín Estadístico* . Obtenido de <https://www.ut.com.sv>
- Vladimir Agafonkin. (2010). *Leaflet*. Obtenido de [www.leafletjs.com](http://www.leafletjs.com)
- White, D. E. ( 1965). *Geothermal energy: U. S. Geol. Survey Circular 519*.
- White, D. E. (1975). *Assessment of geothermal resources of the United States -- 1975: U. S. Geol. Survey Circular 726*.
- Zapata, H. (2015). *"Propuesta de una hoja de ruta para el fomento del desarrollo de proyectos"*.
- Zosimo F. Sarmient, B. S. (2013). *VOLUMETRIC RESOURCE ASSESSMENT* . Santa Tecla.



## ANEXO

- Para más información sobre el apartado de anexo, contactar a los siguientes correos electrónicos:

[Ricardomorales.rv@gmail.com](mailto:Ricardomorales.rv@gmail.com)

[Kevin.vargas1710@gmail.com](mailto:Kevin.vargas1710@gmail.com)

[deimosal24@gmail.com](mailto:deimosal24@gmail.com)

