



FACULTAD DE POSTGRADO

TESIS DE POSTGRADO

**GEOQUIMICA DE EXPLORACION EN LA ZONA SUR DE
HONDURAS**

SUSTENTADO POR:

MIGUEL ANGEL GARCIA WILLIAMS

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE
MÁSTER EN GESTIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE**

**TEGUCIGALPA, FRANCISCO MORAZÁN, HONDURAS,
C.A.**

ABRIL 2016

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA
UNITEC**

FACULTAD DE POSTGRADO

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR

LUIS ORLANDO ZELAYA MEDRANO

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTÍNEZ MIRALDA

VICERRECTOR ACADÉMICO

MARLON BREVÉ REYES

DECANO DE LA FACULTAD DE POSTGRADO

JOSÉ ARNOLDO SERMEÑO

**GEOQUIMICA DE EXPLORACION EN LA ZONA SUR DE
HONDURAS.**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MÁSTER EN**

GESTIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE

ASESOR METODOLÓGICO

WILFREDO CESAR FLORES CASTRO

ASESOR TEMÁTICO

SIGFRIDO ANTONIO SANDOVAL SOTO

MIEMBROS DE LA TERNA

JAVIER SALGADO

JORGE CENTENO

MARIO CHINCHILLA



FACULTAD DE POSTGRADO

**GEOQUIMICA DE EXPLORACION EN LA ZONA SUR DE
HONDURAS**

AUTOR:

MIGUEL ANGEL GARCIA WILLIAMS

RESUMEN

El presente documento, se dedica a la investigación y análisis geoquímico de las manifestaciones hidrotermales más significativas de la zona sur de Honduras, específicamente en el departamento de Choluteca. La selección de esta zona es producto de la investigación y recopilación estadística que realizamos, partiendo del inventario geotérmico de ENEE, elaborado entre 1977-1980 bajo el programa de asistencia del PNUD. Dentro de los objetivos que nos planteamos, durante nuestra investigación, fue la de establecer la relación que posiblemente exista entre cada una de las zonas hidrotermales de interés. También, comprobar la existencia del efecto de subducción de placas tectónicas, característico de las zonas geotérmicas de la región, y en términos generales generar un aporte al Modelo Conceptual Geotérmico de Honduras, a través de la geoquímica de exploración. Los métodos que hemos utilizado en nuestra investigación, responden a los estándares ya establecidos tanto para el muestreo de campo y recolección de muestras, como a su vez las técnicas de laboratorio y métodos geo-científicos que se aplicaron para la obtención de los resultados. También empleamos Guías ampliamente probadas y desarrolladas por los países latinoamericanos en el desarrollo de la utilización de la geotermia. OLADE nos presenta detalladamente los pasos a seguir en la exploración geo-científica, además muchos laboratorios especializados en el tema han fijado parámetros que ayudaron a la elaboración de este documento. Métodos de Absorción Atómica, Colorimetría laser y visual, Potenciometría, y Espectrografía de Masas, son algunos de los métodos que se utilizaron en este documento para demostrar los objetivos planteados. Entre los resultados más significativos que hemos obtenido, en la aplicación de la geoquímica de exploración y clasificación de las aguas, es que no existe relación isotópica alguna entre cada una de las zonas de interés. Una de las áreas investigadas (la zona 2), poseedora de características geotérmicas de interés, presenta una composición Clorurada-Sódica, la que pudiera relacionarse con el proceso de subducción de placas. Se podría concluir formulando la hipótesis de que en el área de Namasigue existe un sistema de aguas hidrotermales profundas, con cierto rasgo magmático en su fuente de calor. Para su confirmación detallada, se recomienda continuar con los estudios geo-científicos que pudieran definir plenamente el Modelo Conceptual Geotérmico de la zona.

Palabras claves: Geoquímica, Geotermia, Geo-termometría, Isotopía, Modelo Conceptual.



FACULTAD DE POSTGRADO

**EXPLORATION OF GEOCHEMISTRY OF THE SOUTHERN
PART OF HONDURAS**

BY:

MIGUEL ANGEL GARCIA WILLIAMS

ABSTRACT

This paper is dedicated to the research and geochemical analysis of the most significant hydrothermal manifestations of the southern part of Honduras, specifically in the department of Choluteca. The selection of this area is the product of research and statistical compilation, starting from geothermal inventory of ENEE, developed between 1977 - 1980 under the UNDP assistance program. Within the objectives of our investigation was to established if there is any possible relation between each of the hydrothermal areas of interest. And also to inspect for the effect of subduction of tectonic plates, characteristic of geothermal areas in the región, and in general terms, to generate a contribution to the geothermal conceptual model of Honduras, through geochemistry exploration. The methods we have used in our research, respond to established standards for both field sampling and sample collection, and in turn the geoscientific laboratory techniques and methods that were applied for obtaining the results. We also employed methods extensively tested and developed by Latin American countries in the development of the use of geothermal energy. OLADE presents in detail each step in the geoscience exploration, and many other specialized laboratories in the field where they have set parameters that helped prepare this document. Atomic absorption methods, laser and visual colorimetry, potentiometry and mass spectrometry are some of the methods that were used. Among the most significant results we have achieved in the application of geochemical exploration and classification of waters, is that there is no isotopic relation between areas of interest. One of the areas investigated (zone 2); possesses geothermal features of interest, and provide a composition chlorinated sodium, which could be related to the subduction of the plates. We could conclude hypothetically, that in the area of Namasigue exist deep hydrothermal system waters, with some magmatic feature in their heat source . For detailed confirmation, it is recommended to continue a geoscientists study, that could fully define the geothermal conceptual model of the area.

Keywords: geochemistry, geothermal, geothermometry, isotopy, conceptual model.

DEDICATORIA

PRIMORDIALMETE A DIOS POR SER EL SUSTENTO NECESARIO PARA MANTENERME CON SALUD PARA CULMINAR UNA ETAPA MÁS DE MI VIDA PROFESIONAL, POR ILUMINAR MI MENTE Y AYUDARME EN TODO MOMENTO QUE LE PEDÍ DIRECCIÓN PARA CULMINAR CON ÉXITO ESTA TESIS.

MI ESPOSA Y MIS HIJOS, POR ESTAR SIEMPRE A MI LADO Y SER EL MOTIVO POR EL CUAL SIGO ADELANTE.

MIS PADRES, POR SER UN APOYO INCONDICIONAL EN TODO MOMENTO.

MIGUEL ANGEL GARCIA WILLIAMS

AGRADECIMIENTO

AGRADEZCO A MI ASESOR POR GUIAR Y MOTIVAR MIS PASOS LOS CUALES NO CONCLUYEN AQUÍ SI NO MAS BIEN COMIENZAN EN LA APLICACIÓN Y DESARROLLO DE LOS CONOCIMIENTOS APRENDIDOS.

A TODOS LOS CATEDRÁTICOS POR COMPARTIR SUS CONOCIMIENTOS A LO LARGO DE MI CARRERA.

A LA EMPRESA NACIONAL DE ENERGIA ELECTRICA (ENEE), QUE ME BRINDÓ SU COLABORACION EN TODO MOMENTO, A SU PERSONAL TECNICO QUE TRABAJO CONMIGO PARA LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

A MIS COMPAÑEROS POR SU ACOMPAÑAMIENTO Y MUESTRAS DE AFECTO A LO LARGO DE ESTA MAESTRIA.

A MI FAMILIA POR SU APOYO INCONDICIONAL Y EL SACRIFICIO COMPARTIDO, POR TODA LA CONFIANZA, PACIENCIA, AMOR Y COMPRENSION.

MIGUEL ANGEL GARCIA WILLIAMS

INDICE

CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION	1
1.1 INTRODUCCION	1
1.2 ANTECEDENTES	4
1.3 DEFINICION DEL PROBLEMA	5
1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA	6
1.3.2 FORMULACION DEL PROBLEMA	8
1.3.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACION	8
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO	9
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	9
1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	9
1.5 JUSTIFICACION	10
CAPITULO 2. MARCO TEORICO	11
2.1 ANALISIS DE LA SITUACION ACTUAL	11
2.1.1 ANALISIS DEL MACRO-ENTORNO	13
2.1.2 ANALISIS DEL MICRO-ENTORNO	19
2.1.3 ANALISIS INTERNO	26
2.2 TEORIA DE SUSTENTO	35
2.3 CONCEPTUALIZACION	36
2.4 INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS	37
2.5 APLICACIONES PARA EL RECURSO HIDROTHERMAL DE ESTUDIO	38
2.6 MARCO LEGAL	43
CAPITULO 3. METODOLOGIA	45
3.1 CONGRUENCIA METODOLOGICA	45
3.1.1 OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES	46
3.2 ENFOQUE Y METODO	48
3.2.1 Muestreo en Campo	48
3.2.2 Trabajo de Laboratorio	49
3.2.3 Interpretación de los Resultados Geoquímicos Obtenidos	50
3.3 MATERIAL	52
3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACION	52
3.4.1 POBLACION	52
3.4.2 MUESTRA	53

3.4.3	UNIDAD DE ANALISIS.....	53
3.4.4	UNIDAD DE RESPUESTA	53
3.5	TECNICAS Y TRABAJOS EJECUTADOS.....	54
3.5.1	TRABAJOS EJECUTADOS	54
3.5.2	TECNICA	54
3.6	FUENTES DE INFORMACION.....	55
3.6.1	FUENTES PRIMARIAS.....	55
3.6.2	FUENTES SECUNDARIAS	55
3.7	LIMITANTES DEL ESTUDIO	55
CAPITULO 4. RESULTADOS E INTERPRETACION		56
4.1	COMPARACION ENTRE UNIDAD DE ANALISIS Y ENCUESTA	56
4.2	UBICACIÓN DE LAS MANIFESTACIONES POR ZONA	56
4.3	TEMPERATURAS AMBIENTES Y SUPERFICIALES DEL AGUA TERMAL	58
4.4	CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA CORREGIDA A 25°C micro Siemens/centímetro $\mu\text{S}/\text{cm}$	59
4.5	pH DE LAS MUESTRAS	60
4.6	ANIONES Y CATIONES	61
4.7	ALCALINIDAD TOTAL	62
4.8	BALANCE IONICO	63
4.9	REPRESENTACION GRAFICA DEL BALANCE IONICO	64
4.10	GEOTERMOMETRIA.....	70
4.11	GEOQUIMICA ISOTOPICA	72
4.12	COMPROBACION DE OBJETIVOS	74
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		75
5.1	CONCLUSIONES	75
5.2	RECOMENDACIONES	76
5.3	APORTES DEL TRABAJO.....	77
CAPITULO 6. APLICABILIDAD		78
BIBLIOGRAFÍA		80
ANEXOS		83

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Capacidad instalada en la zona sur de Honduras.....	6
Tablas 2.0 Potencia Estimada y Capacidad de Desarrollo Según Lippmann.....	15
Tablas 2.1 Potencia Estimada y Capacidad de Desarrollo Según CEPAL.	16
Tablas 2.2 Potencia Estimada y Capacidad de Desarrollo Según JICA.	16
Tablas 2.3 Potencia Estimada y Capacidad de Desarrollo Según SICA.....	16
Tablas 2.4 Potencia Estimada y Capacidad de Desarrollo Según EPI.	17
Tablas 2.5 Potencia Estimada y Capacidad de Desarrollo Según IILA.....	17
Tabla 3. Potencia Instalada en C.A.	18
Tabla 4. Sitios en Desarrollo e Investigación Geotérmica.....	19
Tabla 5. Potencial térmico y eléctrico en zonas geotermales según Los Álamos.	23
Tabla 6. Potencial térmico y eléctrico en zonas geotermales según (EADRGCA, 2010).	24
Tabla 7. Resumen de la situación Actual de los sitios de estudio en mención, según EADRGCA, 2010.	24
Tabla 8. Zonificación de Re evaluación Geoquímica según ENEE, 2012.	25
Tabla 9. Resumen de Cantidad de Sitios Potenciales por Departamento (según inventario ENEE/PNUD, 1977).	28
Tabla 10. Resumen de los promedios de temperaturas superficiales del fluido hidrotermal por Departamentos.	29
Tabla 11. Resumen de Temperaturas hidrotermales y cantidad de Sitios > a 60°C por Departamentos.	30
Tabla 12. Tabla de resumen de variables encontradas, los métodos empleados y los equipos utilizados.	37
Tabla 13. Clasificación de entalpia, según su temperatura.....	38
Tabla 14. Tabla resumen para el uso directo de las aguas hidrotermales.	40

Tabla 15. Categorización de manifestaciones por orden de zonificación.....	57
Tabla 16. Ubicación de las manifestaciones representativas por cada zona.....	57
Tabla 17. Temperaturas ambientes y superficiales del agua durante el muestreo por zonas. .	59
Tabla 18. Conductividades de las Manifestaciones Termales por Zonas.	60
Tabla 19. pH de las Manifestaciones Termales por Zonas.	60
Tabla 20. Calculo de Aniones.....	61
Tabla 21. Calculo de Cationes.	62
Tabla 22. Alcalinidad..	63
Tabla 23. Balance Iónico por zona.....	64
Tabla 24. Isotopía con Deuterio y Oxígeno 18.	72

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Campos geotérmicos de Honduras.	4
Figura 2. Ubicación de los campos geotérmicos en C.A.....	14
Figura 3. Zonificación de la Re evaluación de ENEE.....	26
Figura 4. Sitios 8, 19,23 y 14, zona 1. (Muestra representativa 8-Z1)	32
Figura 5. Sitios 1 y 15, zona 2. (Muestra representativa 15-Z2).....	33
Figura 6. Sitios 3, zona 3. (Muestra representativa 3-Z3)	34
Figura 7. Sitio 12 y 13, zona 4. (Muestra representativa 12-Z4)	34
Figura 8. Aprovechamiento para usos directos, en base a su temperatura	40
Figura 9. Diseño esquemático ciclo binario	41
Figura 10. Esquema para la clasificación de rentabilidad en el aprovechamiento del recurso.	42
Figura 11. Esquema integrado en la elaboración del modelo conceptual geotérmico	43
Figura 12. Esquemización de las variables.	46

Figura 13. Interpretación de las aguas según PIPER 51

Figura 14. Flujo de la metodología a emplear en este trabajo. 51

CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION

1.1 INTRODUCCION

Honduras posee características particulares, respecto al potencial geotérmico si lo comparamos con los demás países de la región centro americana, ya que ella presenta un vulcanismo extinto, y no se ha conocido actividad alguna o por lo menos no se tiene registro en 2,000 años de eventos vulcanológicos asociados a cámaras magmáticas activas, En cambio, en los demás países centroamericanos actualmente manifiestan mucha actividad volcánica, debido a cámaras magmáticas o sistemas activos. Los países hermanos de Centro América, a diferencia de Honduras, se encuentran directamente relacionados con el cinturón de fuego del pacifico, mismo que marca los bordes de placas tectónicas en el pacifico, con pequeñas placas continentales a lo largo de 40,000 Km y con espesores de placas aproximadamente de 80 Km. (Geo enciclopedia, 2016)

En la región centro americana estos bordes son catalogados como bordes convergentes, manifestados a través de la zona de subducción de la placa de cocos por debajo de la del caribe. (Entrenamiento Regional de Geotermia, 2013)

Una pequeña franja costera ubicada en la región sur de Honduras, es la que interactúa con la mencionada zona de subducción. Por tal razón, se esperaría encontrar manifestaciones geotérmicas características y de aprovechamiento típico para la generación con media o alta entalpia. En consecuencia, el interés del presente trabajo se concentra en la zona de interacción, apoyándonos en variables de exploración previamente descritas en el inventario geotérmico nacional de 1977, elaborado por ENEE a través del programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

No se conoce una descripción del Modelo Conceptual Geotérmico de Honduras, al igual, no se ha elaborado una actualización de las variables de exploración realizadas en trabajos anteriores (Dirección Nacional de Energía, Mi Ambiente, 2016). Se conocen solamente trabajos de exploración del potencial de Honduras de la Empresa GeothermEX, 1980, y la Hidro-

geoquímica de Seis Sitios Geotérmicos en Honduras, del Laboratorio Nacional de los Álamos, 1991, al igual que algunos documentos científicos más que todo orientados al campo geotérmico de Platanares en el occidente del país.

La geoquímica de exploración, es una de las geo-ciencias que permite dar inicio a la elaboración del modelo conceptual geotérmico de un sistema. Sirve para caracterizar el recurso y evaluar, mediante su geo-termometría, las condiciones termodinámicas del reservorio, al igual que la recarga, descarga y procesos de mezcla del fluido termal. Junto con la geología, permite categorizar el posible interés de estudio de un campo o sistema geotermal generando así una plataforma científica de gran aporte en la determinación de su modelo conceptual.

La geotermia como fuente de generación de energía eléctrica, presenta variables como potencia firme o generación base, la cual sería una solución renovable, sostenible y capaz de dar respuesta a la estabilización del sistema energético del país, también incrementa la diversificación de la matriz de generación de Honduras. Actualmente se han concesionado algunas áreas de interés, de las cuales solo el campo geotérmico de Platanares ha estado siendo evaluado muy lentamente. Esta realidad, tiene su explicación en el alto costo de las investigaciones para estudios de factibilidad o desarrollo completo del modelo conceptual geotérmico en dichas zonas. Otras concesiones, son la de los campos de Pavana, en la zona sur del país, el cual no presenta actualización de datos geo-científicos, y Azacualpa, en la zona centro del país, en igual condición para los estudios que Pavana. (Dirección de Energía, Mi Ambiente, 2016)

Según los trabajos de exploración antes mencionados y estimaciones termométricas, Honduras no posee manifestaciones con potencial de alta entalpia, como para considerar centrales de condensación o expansión súbita. Sin embargo, la tecnología en materia de aprovechamiento geotérmico permite tener una gama de opciones con base en las condiciones especiales existente en cada posible área geotérmica como, por ejemplo, la generación con ciclos binarios. Igualmente, se podría aprovechar este recurso para fines de usos directos los cuales podrían estar enfocados a actividades de auto sostenimiento. Algunos países como Japón, EEUU

e Islandia, han sabido dar buen uso productivo a sistemas de bajas y medianas entalpías, para el cultivo de especies animales, vegetales, que requieren condiciones especiales de temperatura, climatización de ambientes, pre secados en industria y otros, las cuales podrían ser replicadas como una nueva forma de desarrollo sostenible en la zona.

Algunas consideraciones del presente trabajo, es que servirá de base para las futuras evaluaciones del potencial geotérmico en la zona sur de Honduras. Otra consideración importante, es el hecho de que se enfoca en una de las zona de mayor atraso en términos de desarrollo económico (INE, 2015). Además, se brinda una clasificación hidro-química de los fluidos hidrotermales encontrados. También es importante señalar, que la zona seleccionada coincide con puntos de salida comercial a través del Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central, tanto para El Salvador como para Nicaragua. Por otro lado, la mayor generación fotovoltaica de Honduras se encuentra instalada en la misma zona, permitiendo así poder trabajar como un híbrido que eficiente la generación (Dirección de Planificación, ENEE, 2016). La zona sur, no posee potencial hidroeléctrico, ya que presenta precipitaciones anuales muy bajas, siendo este un recurso exclusivamente para consumo humano y riegos en cultivos. (Departamento de Estudio de Recursos, ENEE, 2016).

Los métodos de análisis empleados durante la realización del presente trabajo, responden a métodos geo-científicos estándares, aplicados ampliamente en laboratorios especializados en el análisis hidro-geoquímico de las aguas. La geoquímica de este trabajo de investigación contempla: Balance Iónico, Isotopía Radioactiva, Geo termometría, Conductividad y PH, en cada una de las zonas de mayor interés en la zona sur de Honduras, específicamente en el departamento de Choluteca en donde se concentra la mayor cantidad de sitios con manifestaciones hidrotermales.

La elaboración de este trabajo, cuenta con la colaboración y apoyo de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) Tegucigalpa, Honduras, a través de su Laboratorio de Química. En dicho laboratorio, se ejecutaron los análisis para la obtención de los resultados geoquímicos, ya que posee los equipos necesarios para ello. Contamos también con la asistencia técnica del personal del Laboratorio de LaGEO, San Salvador, El Salvador.

1.2 ANTECEDENTES

Según el Estudios de 1980 de la empresa GeothermEX con fondos del Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (Instituto Italo- Americano, Estado Actual y Desarrollo de los Recursos Geotérmicos en Centro América, 2009-10), buscaba identificar sitios con potencial geotérmico para la generación de energía eléctrica. Los resultados preliminares de dichos estudios fueron la identificación de 6 sitios con aproximación de temperaturas altas en los reservorios para los fines de explotación comercial. Posteriormente este estudio fue revisado y respaldado por ENEE (HON) y el Laboratorio Nacional de los Álamos (US) en un nuevo programa de identificación de sitios potenciales, dichos sitios son: Pavana, Azacualpa, Sambo Creek, Platanares, El Olivar y San Ignacio.

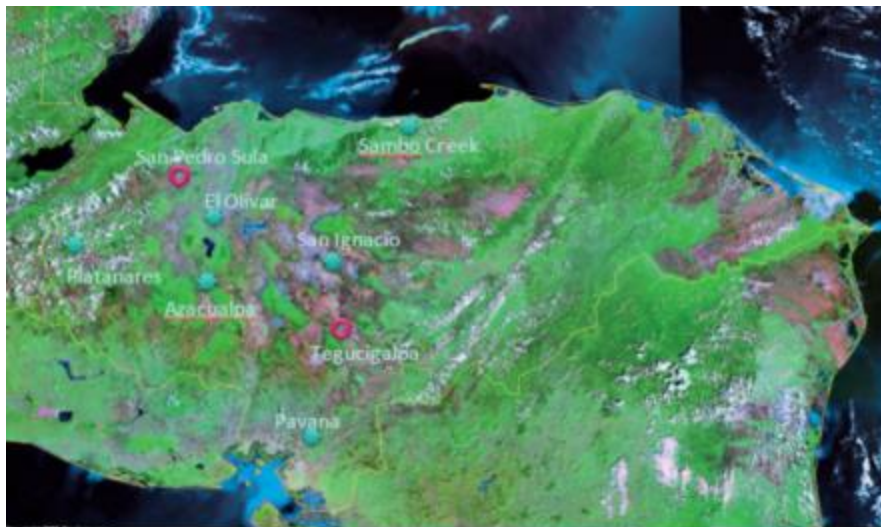


Figura 1. Campos geotérmicos de Honduras.

Fuente: (Geology.com, 1995)

El Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas, manteniendo el interés de buscar el desarrollo de la geotermia en Honduras, proporcionó fondos a 2 compañías (Geotérmica Italiana y DAL) --dedicadas a la investigación geo-científica y que anteriormente habían trabajado en importantes estudios en Italia—para que realizara estudios más detallados en base a los 6 sitios previamente identificados. Los resultados de estos estudios, fueron la perforación de pozos exploratorios y de gradientes, 3 en Platanares, 2 en Azacualpa y 1 en San Ignacio, lo que

permitió conocer la geoquímica de cada uno de los 3 reservorios, los cuales mediante la geotermometría resultaron ser los de más alta temperatura. Fue en 1988, una vez finalizado el estudio completo, que se pudieron determinar posibles temperaturas a nivel de reservorios y un estimado volumétrico de cada uno de los 6 sitios con mayor potencial de aprovechamiento geotérmico ($>150^{\circ}\text{C}$), lo que llevo a los primeros cálculos del potencial energético. (Instituto Italo- Americano, Estado Actual y Desarrollo de los Recursos Geotérmicos en Centro América, 2009-10)

1.3 DEFINICION DEL PROBLEMA

Honduras, presenta grandes retos respecto a la urgencia de incrementar su potencia energética firme para cumplir con los objetivos planteados en el Plan de Nación, donde uno de los puntos es el cambio de la matriz de potencia instalada que para el año 2038 contempla un 80% de potencia instalada de renovable y un 20% de potencia derivada del petróleo. Sin embargo, la sustitución de esta potencia, que consideramos firme o estable, actualmente generada por derivados directos del petróleo, solamente podrá ser efectivamente reemplazada por generación de fuentes renovables, como por ejemplo las hidroeléctricas de embalse, que no se vean afectada por el cambio climático, centrales de biomasa alimentadas con materia prima disponible todo el año y centrales geotérmicas.

Las consecuencias se podrían analizar desde diferentes puntos de vista, pasando por la mala calidad del servicio de energía eléctrica hasta una carente plataforma de inversión ya que no le podría hacer frente a la demanda para el desarrollo planificado.

¿Podrá la generación de energía con fuente geotérmica dar una solución a mediano y largo plazo y permitir así hacerle frente a la planificación acelerada que se espera para la zona sur del país?, es la pregunta que debemos comenzar hacer y más que eso trabajar para tales fines

1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Actualmente la zona sur de Honduras cuenta con generación a base de energía térmica de bunker, energía eólica, energía solar fotovoltaica y una central hidroeléctrica de usos múltiples, presentando así un escenario muy variable. La mayoría de la generación térmica de bunker se concentra en dicha zona, al igual que la totalidad de las centrales fotovoltaicas y un crecimiento de las centrales eólicas. El problema se presenta, cuando el gobierno ha tomado la decisión de emprender la sustitución o reducción de esta energía, con base en combustibles fósiles, por energías renovables, por lo que se tiene que buscar las mejores alternativas de aplicación o de fuentes de generación que logren esos objetivos.

La potencia instalada en la zona sur de Honduras es de 877Mw y se presenta en la siguiente Tabla:

Tabla 1. Capacidad instalada en la zona sur de Honduras.

PLANTA	Tipo	Capacidad Instalada (MW)
Choluteca Energía Solar I (SERSA, SunEdison)*	Solar (en operación)	20
Choluteca Energía Solar II (SERSA, SunEdison)*	Solar (en operación)	30
Pavana Solar (ENERBASA)*	Solar (en operación)	24
Nacaome (SOPOSA)*	Solar (en operación)	50
Solar Fotovoltaico Valle (COHESSA)*	Solar (en operación)	50
Granja Solar del Pacifico I (FOTERSA, SunEdison)*	Solar (en operación)	20
Solar del Sur (MECER)*	Solar (en operación)	25
Marcovia Solar (ESCA)*	Solar (en operación)	40.5
Generación Nacaome II (PRODERSSA)*	Solar (en operación)	49.9
El Caguano (Cinco Estrellas)*	Solar (en operación)	61
Generación Nacaome I (Pacific Solar Energy)*	Solar (en operación)	49.9
Llanos del Sur Fotovoltaica (LLANOSUR)*	Solar (en operación)	14.81

San Marcos	Eólica (en operación)	49.50
Nacaome (Publica)	Hidroeléctrica (en operación)	30.00
La Grecia	Biomasa (en operación)	12.00
Lufusa 1	Térmica de gas (fuera de servicio)	39.50
Lufusa 2	Térmica Diésel (en operación)	80.00
Lufusa 3	Térmica Diésel (en operación)	231.00

Fuente: (Dirección de Planificación, ENEE, 2016)

Como se observa en la Tabla No. 1, la mayor cantidad de proyectos solares se presentan en la zona sur del país ya que es donde se presentan las mejores condiciones para la generación fotovoltaica; Sin embargo, será necesario que el sector energía realice un análisis técnico del impacto que esta generación intermitente o flexible tendría en el comportamiento de su despacho y en la red eléctrica nacional.

A continuación podremos observar de mejor manera la distribución de la potencia instalada en la zona sur.

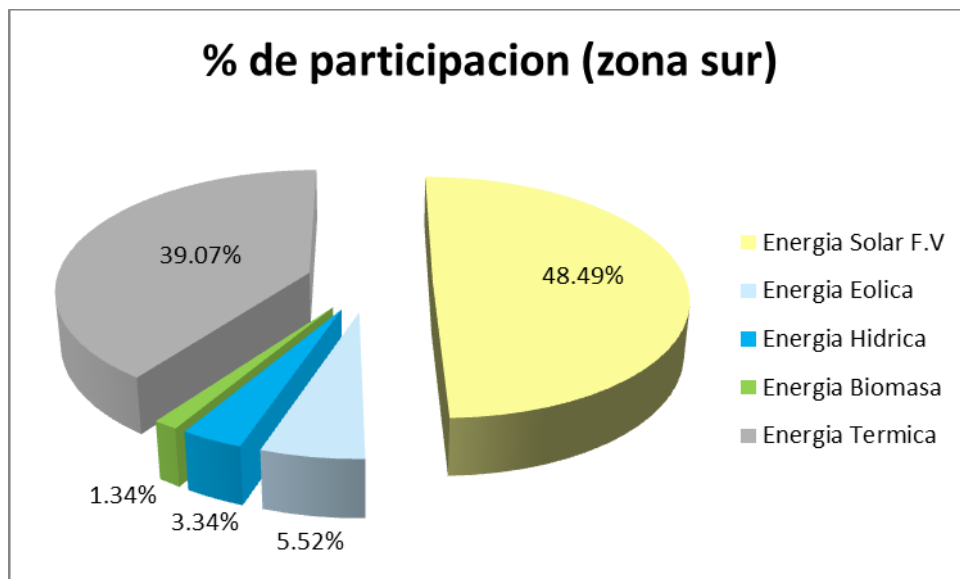


Gráfico 1. Porcentaje de participación por capacidad instalada.

Fuente: (Elaboración Propia, 2016)

Este documento, responde a la necesidad en primer lugar, de contemplar la inserción de la energía geotérmica en la matriz de generación del país y sobre todo enfocada al potencial de la zona sur ya que es allí donde se han observado el mayor número de manifestaciones hidrotermales concentradas y con temperaturas superficiales de consideración. En segundo lugar, actualizar los datos existentes de la geoquímica de exploración con que cuenta el país para los sitios seleccionados y, en tercer lugar, elaborar un Modelo Conceptual Geoquímico, con base a los resultados de campo y de laboratorio que permitirán la clasificación hidro-química e isotópica de las aguas termales y la geo termometría en las zonas anómalas.

1.3.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

La necesidad de datos actualizados del sistema geoquímico de la zona sur del país, así como el levantamiento de nuevos datos, análisis y modelación de los mismos presentados bajo esquemas técnicos de investigación, podrá permitir formular una visión amplia del comportamiento de los flujos geotérmicos de esa área del país.

En resumen, surgirá la interrogante como la que si el potencial geotérmico en la zona sur es apto para su aprovechamiento en la generación de energía eléctrica, además en base a los resultados obtenidos se podría estimar si el recurso se podría disponer en aplicaciones directas, siendo este último motivo de futuras investigaciones.

1.3.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACION

1. ¿Existirá un potencial geotérmico aprovechable para generación de energía eléctrica en la zona sur de Honduras?
2. ¿Qué tipo de composición físico- químico tienen tales manifestaciones Hidrotermales en la zona sur de Honduras?

3. ¿Cómo se relacionan las manifestaciones unas con otras? ¿se podrá delimitar un área de exploración, relacionada a una estructura geológica?
4. ¿Se podrá elaborar un Modelo Conceptual Geotérmico que permita mantener el interés en el estudio científico de la zona?

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Análisis y clasificación geoquímica, de las aguas hidrotermales en la zona sur de Honduras. Su geotermometría y análisis isotópico.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar el tipo de aguas presentes en las manifestaciones geotérmicas de la zona sur de Honduras.
- Hacer uso de herramientas y métodos geocientíficos que generen una plataforma de estudios de investigación en múltiples áreas.
- Delimitar y analizar el origen del recurso hidrotermal, con la finalidad de desarrollar un aporte significativo al modelo conceptual geotérmico en Honduras.
- Analizar la relación de las 4 zonas objetos del estudio, con base en su entalpía.

1.5 JUSTIFICACION

El presente documento, responde a la necesidad objetiva de realizar un estudio técnico de investigación en materia energética en el país, el de, particularmente, ejecutar un análisis de la geotermia, en una zona de nuestro país, como una importante fuente de energía renovable con que contamos. Queda claro que existe una necesidad en la reversión de la matriz de generación eléctrica, buscando sobre todo la diversificación de fuentes de generación como medida preventiva que le hará frente a los desafíos de desarrollo y cambio climático.

La energía geotérmica brinda una de las alternativas disponibles en el país, si bien es cierto que existen incertidumbres en la evaluación del potencial del recurso, debido a la complejidad de los estudios de factibilidad del proyecto, como también por las características conceptuales del sistema geotérmico de Honduras. Sin embargo, el escenario se ve posible y optimista si consideramos el uso de recursos geotérmicos de baja o mediana entalpia, para los cuales existe la necesaria tecnología.

La inestabilidad del precio de los combustibles fósiles, la dependencia de ellos en la matriz de generación actual, la pérdida de divisas en su compra en el mercado internacional, la necesidad de la diversificación de la matriz de generación, la búsqueda de la sustentabilidad y el desarrollo sostenible, son algunos de los factores positivos que incentivan la generación de energía eléctrica con fuentes renovables. Contando con el hecho de que la geotermia tiene factores de aprovechamiento altos, en materia de potencia firme y generación base, valdrá la pena considerar como política de estado la investigación y futuro aprovechamiento de este recurso con impacto social y ambiental muy bajo, debido a su forma de explotación auto sostenible.

CAPITULO 2. MARCO TEORICO

2.1 ANALISIS DE LA SITUACION ACTUAL

Enmarcado en el contexto centroamericano, se puede decir que el aporte de la generación con fuentes geotérmicas ha representado un valor significativo en las matrices de generación o potencia instalada de cada país de la región, para el caso: Guatemala tiene una capacidad instalada de 49.2 Mw, Nicaragua 87.5 Mw, Costa Rica 165.5 Mw y El Salvador 2014.4 Mw, (Instituto Italo-Americano, Estado Actual y Desarrollo de los Recursos Geotérmicos en Centro América, [EADRGCA], 2010).

Actualmente se visualizan claros avances tecnológicos en relación a la perforación de pozos profundos, tanto para niveles de investigación como para producción, además de mejores sistemas de modelación de reservorios con el objeto de disminuir la incertidumbre con respecto del Modelo Conceptual particular para cada campo, así como en la determinación del posible potencial o punto a perforar. Se han conocido casos en Centroamérica, de campos que en el pasado han sido sobreexplotados pero que en la actualidad muestran importante mejoría en su producción, tal es el caso de la Central Geotérmica de Ahuachapán, en El Salvador (LaGEO, 2013). Esto, gracias a un correcto manejo y aprovechamiento del mismo. Todo esto viene a fortalecer la perspectiva del aprovechamiento geotérmico en condiciones especiales y se observa la rentabilidad que este aprovechamiento conlleva (Entrenamiento Regional de Geotermia, 2013).

Actualmente el desarrollo y explotación de los campos geotérmicos en Centroamérica, se localizan en el conocido cinturón de fuego del pacífico o en la línea de mayor actividad sísmica y vulcanológica del planeta. En esta zona tiene lugar un conocido proceso de subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa del Caribe, en la conocida Fosa Mesoamericana o Caimán --que se extiende a unos 100Km de la costa pacífica de Centroamérica-- al igual que el sistema de fallas Polochic-Motagua-Chamelecón, las que se presentan como fallas transformantes entre la placa del Caribe y la Norteamericana (Instituto Italo-Americano, EADRGCA, 2010).

La investigación geo-científica se ha mantenido en Centro América, gracias a la colaboración directa de organismos de cooperación internacional y al interés de cada país, en el fortalecimiento de un aprovechamiento ya probado y posible en la mayoría de los campos aun sin explotar. Sin embargo, se presentan muchos retos tecnológicos y de costos todavía por solventar, aunque hay que tomar en cuenta que al existir una relación directa entre la exploración de petróleo con la exploración geotérmica, se podría esperar que la aplicación de las nuevas técnicas para alcanzar yacimientos de petróleo cada vez más profundos o directamente dentro del mar, puede traer un beneficio en la investigación geotérmica y de esa manera poder aprovechar aquellos recursos posibles de mediana o baja entalpia (Entrenamiento Regional de Geotermia, 2013).

Las fuentes de calor asociadas con el aprovechamiento para la generación de energía eléctrica en la región provienen de cámaras magmáticas relativamente someras de 500-3,000m, alcanzando temperaturas superiores a los 200°C. La inestabilidad política que sufrió Centro América en la década de los 80`s y principios de los 90`s con las guerras civiles, no permitieron la exploración y explotación en otras áreas más que las ya conocidas generando atrasos significativos para el desarrollo de la geotermia. Por lo que todo este periodo de tiempo se luchó en buscar la sostenibilidad de los campos ya en operación comercial (Instituto Italo-Americano, EADRGCA, 2010).

En el documento “Estado Actual y Desarrollo de los Recursos Geotérmicos en Centro América” (2010), se hace mención a algunas variables que impactaron en la disminución de las actividades de exploración, tales como:

- Prioridad de inversión de los gobiernos a otros sectores de sus economías.
- Bajos precios del petróleo.
- Las empresas privadas de generación eléctrica prefirieron la inversión en esquemas de generación de electricidad “más tradicional”.
- Los proyectos geotérmicos tenían dificultad para la obtención de préstamos a largo plazo ya que los bancos e inversionistas se habían hecho menos dispuestos a tomar los riesgos asociados con este campo.

- El apoyo a la exploración y desarrollo geotérmico por parte de los gobiernos locales e internacionales se había disminuido.

Si se analiza cada uno de los puntos, que en su momento se consideraron como factores que frenaban la exploración de nuevos campos geotérmicos en la región centroamericana, podemos ver que se mantienen en la actualidad. Sin embargo, el interés cada vez más creciente de los países en buscar la diversificación en sus matrices de generación, dependientes casi absolutos de la importación de los derivados del petróleo, así como el impacto negativo del llamado Cambio Climático y su relación directa con las fuentes de generación “tradicional”, está obligando a los países a buscar otras fuentes más seguras y menos vulnerables aun asumiendo el costo y riesgo de la exploración geocientífica.

En Honduras, desde la década de los 80`s, no se ha realizado una inversión significativa tanto pública como privada en proyectos de investigación y desarrollo de los recursos geotérmicos del país ni mucho menos en la actualización de los modelos conceptuales para cada campo geotermal de los ya conocidos. La ENEE, a través de la cooperación técnica del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), en los años 2012 y 2013 emprendió una campaña exploratoria en campos de la zona central del país, los cuales no fueron analizados a profundidad cuando se realizaron los aportes por parte del Laboratorio Nacional de los Átomos, los resultados de estas investigaciones se presentan más adelante en este documento.

2.1.1 ANALISIS DEL MACRO-ENTORNO

Desde el punto de vista del macro-entorno, vemos que la región centroamericana, cuenta con un sistema geotérmico bastante activo y campos de producción comercial para la generación de energía eléctrica, ya probada y sostenible.

En la siguiente Figura se detallan los campos en operación y los campos en exploración ubicados en Centro América.



Figura 2. Ubicación de los campos geotérmicos en C.A.

Fuente: (EADRGCA, 2010).

Del documento “Estado Actual y Desarrollo de los Recursos Geotérmicos en Centro América” (Instituto Italo- Americano, EADRGCA, 2010), mismo que fue financiado por la Dirección General para la Cooperación al Desarrollo del Ministerio de Asuntos Exteriores de Italia (DGCD/MAE), extraemos lo siguiente:

En países como El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Guatemala, la exploración geotérmica propiamente dicha se inicia a finales de los años cincuenta y en los sesentas, dando como resultados la identificación de varias áreas promisorias para el inicio de las perforaciones que condujeron a la comprobación de los recursos y el inicio de la explotación comercial de algunos campos como Ahuachapán en 1975 (El Salvador), Momotombo en 1983 (Nicaragua), Berlín en 1992 (El Salvador), Miravalles en 1994 (Costa Rica), Zunil en 1998 (Guatemala) y recientemente en 2005 San Jacinto Tizate (Nicaragua) y en 2006 con Amatitlán (Guatemala). (Instituto Italo- Americano, EADRGCA, 2010. pag.35).

Se estima que el potencial geotérmico para la generación de energía eléctrica en Centro América, oscila en el rango de los 2,000-16,000 Mwe. (Lippmann, 2002). Sin embargo, actualmente la capacidad instalada en Centro América es de 506.8 Mw, de los cuales podemos resaltar el aporte en su matriz de generación de un 26% en el caso de El Salvador-- esto sin considerar que, en 2014 y 2015, se ha tenido como política de estado un desarrollo acelerado del campo de San Vicente, con un aporte adicional de 50Mw en su primer etapa-- y para el caso de Costa Rica un aporte del 13% en su matriz de generación. (Entrenamiento Regional de Geotermia, 2013)

Muchos autores han evaluado de manera independiente en base a los análisis conceptuales particulares de cada país su potencial geotérmico y al mismo tiempo la capacidad de desarrollo del mismo potencial. En las siguientes Tablas se muestran las evaluaciones de los diferentes autores por cada país.

Tabla 2.0 Potencia Estimada y Capacidad de Desarrollo Según Lippmann.

PAIS	POTENCIAL Mw	CAPACIDAD DE DESARROLLO Mw
Nicaragua	1,750	1,662.5
Costa Rica	1,000	834.3
Guatemala	1,000	950.8
El Salvador	500	295.6
Honduras	130	130
Panamá	50	50
TOTAL	4,430	3,923.2

Fuente: (EADRGCA, 2010; Lippmann, 2002)

Tabla 2.1 Potencia Estimada y Capacidad de Desarrollo Según CEPAL.

PAIS	POTENCIAL Mw	CAPACIDAD DE DESARROLLO Mw
Nicaragua	1,200	1,112.5
Costa Rica	235	69.5
Guatemala	1,000	950.8
El Salvador	333	128.6
Honduras	120	120
Panamá	40	40
TOTAL	2,928	2,421.4

Fuente: (EADRGCA, 2010; CEPAL, 2004)

Tabla 2.2 Potencia Estimada y Capacidad de Desarrollo Según JICA.

PAIS	POTENCIAL Mw	CAPACIDAD DE DESARROLLO Mw
Nicaragua	992	904.5
Costa Rica	750	584.3
Guatemala	480	423
El Salvador	362	157.6
Honduras	122	122
Panamá	42	42
TOTAL	2,748	2,233.4

Fuente: (EADRGCA, 2010; JICA, 2005)

Tabla 2.3 Potencia Estimada y Capacidad de Desarrollo Según SICA.

PAIS	POTENCIAL Mw	CAPACIDAD DE DESARROLLO Mw
Nicaragua	1,000	912.5
Costa Rica	235	69.3
Guatemala	1,000	950.8
El Salvador	450	245.6
Honduras	126	126
Panamá	40	40
TOTAL	2,851	2,344.2

Fuente: (EADRGCA, 2010; SICA, 2006)

Tabla 2.4 Potencia Estimada y Capacidad de Desarrollo Según EPI.

PAIS	POTENCIAL Mw	CAPACIDAD DE DESARROLLO Mw
Nicaragua	345	257.5
Costa Rica	1,059	893.3
Guatemala	993	943.8
El Salvador	595	390.6
Honduras	677	677
Panamá	719	719
TOTAL	4,388	3,881.2

Fuente: (EADRGCA, 2010; EPI, 2007)

Tabla 2.5 Potencia Estimada y Capacidad de Desarrollo Según IILA.

PAIS	POTENCIAL Mw	CAPACIDAD DE DESARROLLO Mw
Nicaragua	1,519	1,431.5
Costa Rica	865	699.3
Guatemala	400	350.8
El Salvador	644	439.6
Honduras	116	116
Panamá	0	0
TOTAL	3,544	3,037.2

Fuente: (EADRGCA, 2010; IILA, 2009)

Analizando las tablas mostradas anteriormente, se observan las diferencias que existen de acuerdo al autor, sin embargo cada país ha optado por aferrarse a sus números con base a investigaciones propias y usar estas estimaciones como punto de comparación. El aprovechamiento de cada país de la región ha variado debido a múltiples factores, muchos de ellos políticos. De cualquier manera, se puede decir que los países que mantuvieron la investigación pública o como política de estado son los que relativamente tienen mayor aprovechamiento en relación a sus capacidades instaladas, más que los que han dejado en manos

de inversión privada el desarrollo de los posibles campos (Entrenamiento Regional de Geotermia, 2013).

Actualmente se tienen las siguientes capacidades instaladas, según la siguiente Tabla.

Tabla 3. Potencia Instalada en C.A.

PAIS	POTENCIA INSTALADA Mwe
El Salvador	204.4
Costa Rica	165.5
Nicaragua	87.5
Guatemala	49.2
TOTAL	506.6

Fuente: (EADRGCA, 2010)

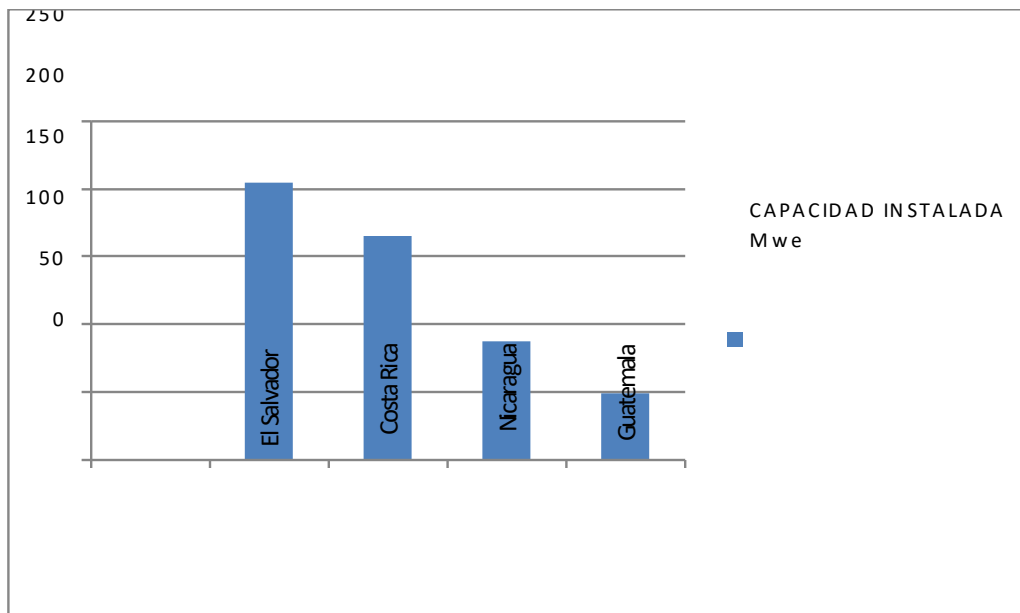


Grafico 2. Porcentaje de participación por capacidad instalada.

Fuente: (EADRGCA, 2010)

En la actualidad se están realizando investigaciones en algunos campos geotérmicos que presentan un potencial valioso para la explotación comercial. A pesar de ello, cabe mencionar

que hasta el momento no ha existido otro aprovechamiento para los sitios de baja y mediana entalpia (100-200°C). En la siguiente Tabla se resumen algunos sitios que se están proyectando entren a operación en los siguientes 10 años.

Tabla 4. Sitios en Desarrollo e Investigación Geotérmica.

PAIS	SITIOS EN DESARROLLO E INVESTIGACION
El Salvador	Chinameca 30Mw, San Vicente 10Mw
Costa Rica	Las Pailas 41.5Mw
Nicaragua	San Jacinto Tizate II 72Mw, El Hoyo- Monte Galán 270Mw, Managua- Chiltepe y Casita San Cristóbal 225Mw
Guatemala	Amatitlán II 30Mw, El Ceibillo 25Mw
Honduras	Geo Platanares 35Mw

Fuente: (Entrenamiento Regional de Geotermia, 2015)

En relación a la Tabla 4, se observa el incremento en la participación que tendrá la geotermia en Nicaragua, cuyas investigaciones que están orientadas a través de una política clara y planificación estratégica para el manejo de su demanda, satisfaciendo con potencia firme el crecimiento económico que se avecina. A su vez, cada desarrollo o investigación aporta experiencia y madurez en el sector de la geotermia, ya que se implementan escenarios técnicos aplicados de manera particular en los diferentes campos.

2.1.2 ANALISIS DEL MICRO-ENTORNO

Honduras presenta condiciones diferentes en relación a los sistemas de los demás países de la región, aunque no por eso se descarta un aprovechamiento del fluido geotermal en baja o mediana entalpia o simplemente un uso directo del recurso. La fuente de calor del sistema geotermal de Honduras proviene de un tectonismo directo, ya que interactúan o convergen tres sistemas de placas terrestres, tenemos por el lado del pacifico la influencia de subducción de la

Placa de Cocos con la Placa del Caribe y por el lado norte del territorio, existe un sistema de falla geológicas relacionadas a la convergencia de la Placa Norteamérica con la del Caribe, esta última presenta mayor signos de actividad ya que se hace acompañar de cadenas montañosas que mantienen una recarga de agua subterránea la cual en reservorios someros es calentada debido a un gradiente térmico natural. Superficialmente se exponen en manifestaciones anómalas con características diferenciadas: las más comunes se aprecian como lodos hirvientes, suelos humeantes, agua en ebullición y alguna fumarola que son más notorias en época de lluvias. Podemos destacar también presencia de manifestaciones en la zona centro del país, siguiendo el mismo patrón del sistema de fallas antes mencionadas y conocidas como Polochic-Motagua-Chamelecón (Instituto Italo- Americano, EADRGCA, 2010).

Estas a floraciones como más adelante se mostrará, se presentan de manera puntual, aprovechando alguna falla local y siendo utilizadas en su mayoría como atractivo turístico en baños termales. Las más significativas son las que se encuentran en los departamentos de Santa Bárbara, Copan y Lempira (Programa de Geotermia, ENEE, 2011).

La zona sur del país presenta un conjunto característico de anomalías hidrotermales, por encontrarse cerca del cinturón de fuego del pacifico. Así mismo, como lo describe el documento (Laboratorio de los Álamos, Investigación Hidro-geoquímica de Seis Sitios Geotérmicos en Honduras LA-70785, 1991), se esperaría la relación de estas manifestaciones con posibles remanentes de ya extintas cámaras magmáticas.

El presente trabajo pretende actualizar y arrojar un esquema geoquímico que permita, con la interpretación de los datos de laboratorio, vincular el origen de los fluidos y las fuentes de calor asociadas a los mismos.

A continuación ofreceremos un resumen de las únicas investigaciones que se han realizado en Honduras de manera integrada y que fueron expuestas en el documento LA-10785-MS (Investigación Hidro-geoquímica de Seis Sitios Geotérmicos en Honduras, América Central, 1991). En este documento de gran valor, elaborado por el Laboratorio Nacional de los Álamos (EEUU), se ofrecen los resultados en la investigación en los seis sitios o regiones con mayor

potencial comercial para la generación de energía eléctrica, los cuales son: Platanares, Azacualpa, San Ignacio, Pavana, Sambo Creek y El Olivar.

Cabe hacer mención, que casi poco o nada se ha hecho desde la elaboración del documento arriba mencionado, por lo que este trabajo proporcionará una buena base científica para la comparación de la investigación realizada anteriormente, ya que se partirá de los resultados de cada sitio o región que se brindaron en ese momento.

Con base en la geoquímica de exploración se pudo concluir, en el documento en mención, de que a pesar que la zona sur, particularmente el sitio de Pavana, está muy cerca del cinturón de fuego y el Olivar (en el Departamento de Cortés) está rodeado de roca basáltica del cuaternario, ninguno de los seis sitios presentan condiciones de vulcanismo cuaternario silíceo el cual sería considerado como un vulcanismo reciente con posibles cámaras magmáticas jóvenes. Además, en el documento en mención, se ofrecen datos geo termométricos en Platanares de 225°C, 190°C en San Ignacio, 185°C en Azacualpa, 155°C en Sambo Creek, 150°C en Pavana y 120°C en El Olivar, con estos valores se estimó mediante correlación valores de potencias en los tres mejores sitios: Platanares 45Mwt, San Ignacio 14Mwt y 13Mwt en Azacualpa. (LA-10784-MS, 1991).

Durante la elaboración del documento citado, se tomaron 80 muestras de aguas calientes para los análisis isotópicos de Deuterio y Oxígeno 18, además de 27 muestras de aguas subterráneas adyacentes, arroyos fríos y una muestra comparativa del Lago de Yojoa. Además, se consideraron las investigaciones previas de GeothermEx, 1980 y Geonomics, 1977. Con relación a los resultados obtenidos, con las muestras tomadas para análisis geoquímico, se concluye que ellas recaen sobre la llamada “Línea de Agua Meteórica” (LA-10784-MS, 1991; Craig, 1961), lo que significa que los reservorios analizados no se localizan en zonas profundas sobre calentadas como es característico en zonas de alta entalpia. Además, se concluye que en las zonas de descarga, de los seis sitios analizados, se encuentra agua termal de miembro- final, (no diluidas y sin hervir), lo que significa aguas de composición base, que no han sido sometidas a procesos de mezcla.

De acuerdo con el documento (LA-10784-MS, 1991), las aguas de Platanares, San Ignacio y El Olivar son del tipo NA- HCO_3 , existiendo una interacción agua- roca. Por otra parte, los sitios de Azacualpa, Pavana y Sambo Creek presentan concentraciones más altas de SO_4 que de HCO_3 , lo que sugiere presencia de yeso y calcita o un calentamiento secundario de vapor sobrecalentado lixiviando minerales de Sulfato.

A continuación se analizan los sitios antes citados.

a. Sitio de Platanares

Se localiza en la Quebrada Agua Caliente, inmediatamente al este de las aldeas de Platanares y San Andrés y aproximadamente a 16Km al oeste de Santa Rosa de Copan (hoja Santa Rosa de Copan, coordenadas MTU 928/327), la región en los alrededores es montañosa y altamente seccionada. Los cerros circunvecinos exceden los 1400m de altura, mientras los manantiales calientes en la quebrada están a 700m. (GeothermEX, 1980).

b. Sitio de San Ignacio

Esta localizado en el Departamento de Francisco Morazán, 3 Km al noroeste del pueblo Barrosa y 8 Km al noroeste del pueblo de San Ignacio. El área de estudio incluye aproximadamente 10Km² (hoja El Porvenir, coordenadas MTU 910/245). Los manantiales calientes emanan de la parte norte del amplio Valle de Siria, en el extremo sur de una cresta de las Montañas de la Flor. La altura de los manantiales es cerca de 750m, mientras que la cresta localizada inmediatamente atrás de los manantiales tienen una altura cerca de 1,000m. (GeothermEX, 1980).

c. Sitio de Azacualpa

Se encuentra adyacente al Rio Jaitique, a lo largo de la parte oriental de la fosa con tendencia norteña de Santa Bárbara, en el cuadrángulo de San Pedro de Zacapa (coordenadas

MTU 843/262). El área geotérmica se localiza entre abruptas montañas, 35Km al suroeste del Lago de Yojoa. (LA-10784-MS, 1991).

d. Sitio de Pavana

Está localizada aproximadamente a 3Km al sureste de la villa de Pavana, adyacente a la Carretera Panamericana (hoja San Lorenzo, coordenadas MTU 656/812) (LA-10784-MS, 1991).

e. Sitio El Olivar

Se localiza aproximadamente a 20km al norte del Lago de Yojoa y cerca de 50Km al sur de San Pedro Sula (hoja Rio Lindo, coordenadas MTU 058/729); (LA-10784-MS, 1991).

En resumen podemos comparar los resultados de la evaluación del potencial en dos estudios diferentes. La Tabla No. 5 siguiente, muestra las potencias y temperaturas de los sitios antes mencionados.

Tabla 5. Potencial térmico y eléctrico en zonas geotermales según Los Álamos.

SITIO	POTENCIA DE SALIDA (Mwt)	POTENCIA DE SALIDA (Mwe)	TEMPERATURAS (°C)
Platanares	45	5.6-8.4	225
Azacualpa	13.4	2	185
San Ignacio	13.8	2.1	190
Pavana	8.4	N/A	150
Sambo Creek	17.6	N/A	155
El Olivar	1.3	N/A	120

Fuente: (LA-10784-MS, 1991)

Para los sitios de Pavana, Sambo Creek y El Olivar, según la tabla No. 5, no aplica la conversión eléctrica ya que poseen temperaturas menores a 180 °C, por lo que se propone otro tipo de eficiencia con base a otra tecnología. Las eficiencias utilizadas en los sitios de Platanares, Azacualpa y San Ignacio son de 12.5 a 18.5%, respectivamente, basados únicamente en el volumen de agua de descarga en la superficie (LA-10784-MS, 1991).

De la misma manera La Tabla No. 6 y con base a los resultados presentados en el documento “Estado Actual y Desarrollo del Recurso en Centro América, 2010”, muestra datos totalmente diferentes a los presentados en la Tabla No. 5, en relación a la potencia estimada para cada campo y en general al potencial que tiene Honduras, lo que nos hace pensar en una reevaluación de los datos comparativos y estimar un potencial más real y exacto.

Tabla 6. Potencial térmico y eléctrico en zonas geotermales según (EADRGCA, 2010).

SITIO	Energía Térmica Prom. Del Reservorio (1018 Joule)	POTENCIA DE SALIDA (Mwe)	TEMPERATURAS (°C)
Platanares	0.72	48	225
Azacualpa	3.4	22.1	185
San Ignacio	0.26	20	190
Pavana	0.43	11	150
Sambo Creek	0.61	15	155
El Olivar	N/A	N/A	N/A

Fuente: (EADRGCA, 2010)

En la siguiente Tabla No. 7, se puede observar el estado actual de los sitios en exploración geotérmica de Honduras.

Tabla 7. Resumen de la situación Actual de los sitios de estudio en mención, según EADRGCA, 2010.

No	Nombre	Reconocimiento	Pre factibilidad	Factibilidad	Desarrollo	Explotación
1	Platanares					
2	Azacualpa					
3	Pavana					
4	San Ignacio					
5	Sambo Creek					

Fuente: (EADRGCA, 2010)

En el año 2012, la ENEE recibe el apoyo de cooperación técnica del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), a través del Programa de “Identificación de Sitios Potenciales Para la Generación de Energía Eléctrica Utilizando la Geotermia” **C3-HON /2/001 03 01**. Dicho programa, contribuyó a la capacitación del personal de laboratorio de ENEE tanto en el muestreo de aguas hidrotermales como en la realización de ciertos análisis necesarios para la complementación del modelo conceptual geoquímico. Asimismo, proveyó la asistencia técnica para la determinación de las zonas de interés para la ENEE partiendo del análisis geoquímico de exploración de 5 zonas originales elegidas por esa empresa, con base a las temperaturas superficiales del inventario del Laboratorio Nacional de los Álamos. Dichas zonas, en el año 2012, fueron nuevamente muestreadas por personal del Laboratorio Químico de la ENEE, con el apoyo del Departamento de Energías Renovables, y distribuidas entre los Departamentos de Atlántida, Colón, Cortés y Comayagua.

En la siguiente Tabla No. 8, se presenta la ubicación de los sitios de interés por zonas, con base al interés del programa de geotermia de ENEE, (2012)

Tabla 8. Zonificación de Re evaluación Geoquímica según ENEE, 2012.

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ALDEA	COORDENADAS		Zona
			ESTE	NORTE	
Comayagua	La Trinidad	La Trinidad	430512	1626419	1
Cortés	Santa Cruz de Yojoa	La Barca	397805	1670557	2
Cortés	Santa Cruz de Yojoa	El Olivar	405815	1672621	2
Atlántida	La Masica	Los Hervaderos	490498	1727084	3
Atlántida	La Masica	El Oro-Agua Caliente	481116	1724972	3
Atlántida	La Masica	Agua Caliente	481878	1725060	3
Atlántida	Jutiapa	Jutiapa	549636	1741616	4

Fuente: (Departamento de Energías Renovables, ENEE, 2012)

Los resultados de la campaña de exploración geoquímica que ENEE realizó en el año 2012, concluyó con base en los resultados de la geo-termometría: que la Zona 2, perteneciente al Departamento de Cortés, cuenta con la mayor temperatura de reservorio, esto analizando 2 manifestaciones representativas de la zona en mención. Por ello, la ENEE ha decidido partir de

esos resultados para continuar con el plan de aprovechamiento geotérmico para Honduras (Departamento de Energías Renovables, ENEE, 2012).

La siguiente Figura No. 3, muestra la zonificación de ENEE en la campaña de muestreo geoquímica en el año 2012.

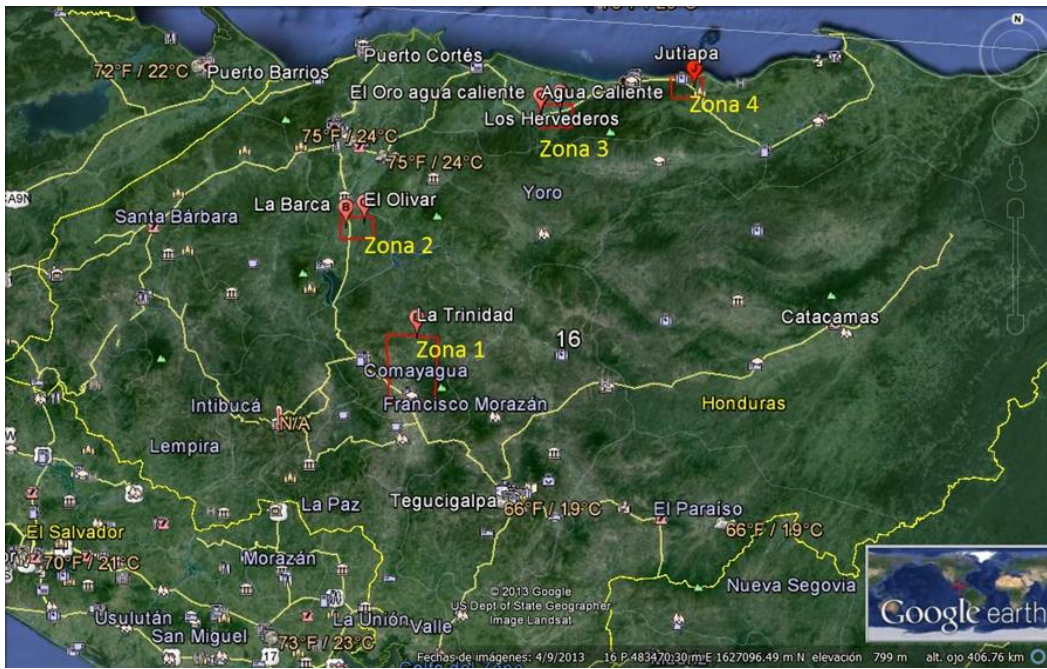


Figura 3. Zonificación de la Re evaluación de ENEE.

Fuente: (Departamento de Energías Renovables, ENEE, 2012)

2.1.3 ANALISIS INTERNO

Es una realidad que la zona sur de Honduras, presenta indicadores de desarrollo y calidad de vida muy bajos, de hecho los más bajos del país (INE, 2015). Esto debido a la poca infraestructura existente y a la escasez de recursos de subsistencia, siendo el aprovechamiento del recurso agua un gran desafío en términos de consumo humano, ganadería y agricultura (FAO, 2014). Agregado, como efecto colateral, la falta de oportunidades de empleo, cuestionable alcance en materia de educación y salud (M. Meza, Migración, Mercado de trabajo y Pobreza en Honduras, 2006).

En materia de generación de energía eléctrica con fuentes alternativas, se han presentado iniciativas que no han tenido éxito debido a varios factores, como lo son proyectos mareomotrices específicamente sobre la bahía de Chismuyo, los cuales son del tipo barrera lo que ha significado mucha controversia de parte de los proteccionista y ambientalista ya que según ellos vendría afectar directamente un ecosistema sensible (Dirección de Energía, Mi Ambiente, 2014). La energía geotérmica, la cual aún no es clara su evaluación geo-científica como se ha mostrado anteriormente en las Tablas No. 5 y 6, presenta muchas discrepancias en relación a la estimación de su recurso, por lo que un análisis actualizado y con base en los resultados geoquímicos, vendría a fortalecer el potencial en una zona muy necesitada de inversión y de diversificación de sus fuentes de generación o aprovechamiento.

Este trabajo, se apoya en el Inventario Geotérmico de ENEE elaborado entre 1977-1980 con el apoyo del PNUD, de las Naciones Unidas, el cual amplía la zonas de investigación y profundiza aún más en la recopilación de datos científicos por sitio de estudio; en los anexos No. 1 al 4, se muestra la recopilación de dicho inventario.

Con base en el inventario (ENEE/PNUD, 1977), se realizó un análisis estadístico para determinar en qué sitios o zonas se enfocaría este trabajo de investigación. Cabe hacer mención que este inventario difiere a los estudios previos (Instituto Italo- americano, 2010 y el Laboratorio de los Álamos, 1991) respecto a las condiciones de temperatura de fluido hidrotermal, una vez realizada la geoquímica de exploración se compararán los resultados para afinar algunos conceptos o perspectivas del potencial en esta región del país. A continuación se muestran algunas tablas que limitan el área de investigación de este trabajo.

En la Tabla siguiente, podemos observar los 51 sitios o manifestaciones hidrotermales que se presentan en el inventario geotérmico nacional (ENEE/PNUD, 1977), separados por departamentos. Ver anexos 1 al 4.

Tabla 9. Resumen de Cantidad de Sitios Potenciales por Departamento (según inventario ENEE/PNUD, 1977)

DEPARTAMENTOS	CANTIDAD DE SITIOS
Choluteca	10
Valle	2
Comayagua	4
Yoro	3
Francisco Morazán	4
Lempira	7
Atlántida	6
Intibucá	2
Cortes	3
Colon	5
El Paraíso	3
Copan	1
Olancho	1

Fuente: (Recopilación propia, 2016)

En el siguiente Grafico se observa, la cantidad de sitios por departamentos, con base al inventario (ENEE/PNUD, 1977), en el mismo se puede apreciar que el departamento con mayor aporte de manifestaciones es Choluteca, con un total de 10 manifestaciones de las 51 manifestaciones recopiladas.

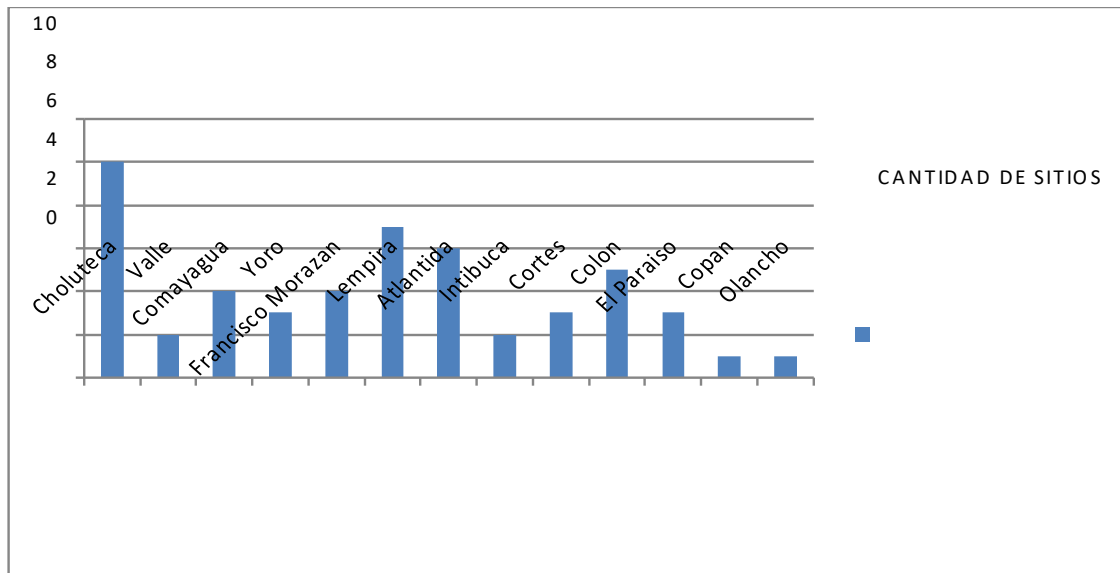


Grafico 3. Cantidad de sitios geotérmicos potenciales por departamento.

Fuente: (Elaboración propia, 2016)

En la siguiente Tabla, se muestra el promedio de temperatura superficial del fluido hidrotermal por departamento, basados en los sitios de la Tabla No.9.

Tabla 10. Resumen de los promedios de temperaturas superficiales del fluido hidrotermal por Departamentos.

DEPARTAMENTOS	PROMEDIO DE TEMPERATURAS (°C)
Cholulteca	79
Valle	50
Comayagua	55
Yoro	59
Francisco Morazán	61
Lempira	60
Atlántida	77
Intibucá	75
Cortes	55
Colon	62
El Paraíso	74
Copan	92
Olancho	62

Fuente: (Elaboración propia, 2016)

En el siguiente Gráfico, se observa el promedio de temperaturas superficiales de las manifestaciones hidrotermales por Departamentos, según Tabla No. 10

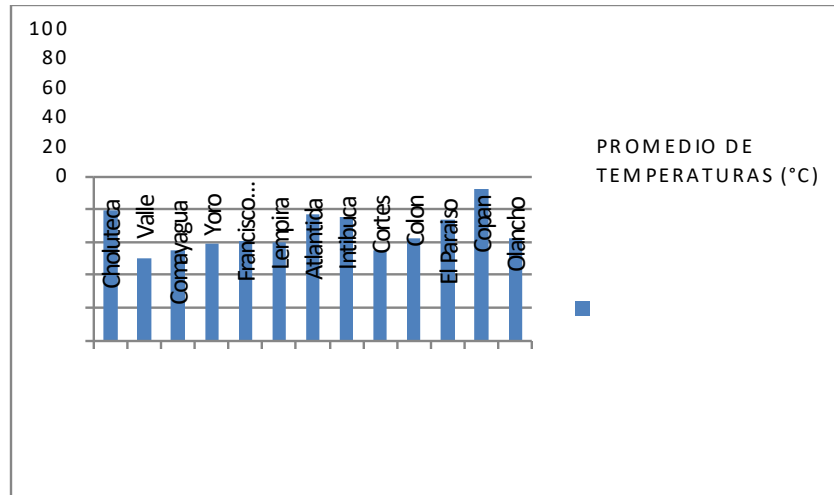


Gráfico 4. Promedio de Temperaturas hidrotermales superficiales por Departamento.

Fuente: (Elaboración propia, 2016)

La siguiente Tabla, nos muestra la cantidad de sitios con temperaturas mayores a los 60 °C, con base en la Tabla No.9 y al promedio de temperaturas de la Tabla No. 10. Además podemos observar el nuevo promedio de temperaturas de la cantidad de sitios en mención.

Tabla 11. Resumen de Temperaturas hidrotermales y cantidad de Sitios > a 60°C por Departamentos.

DEPARTAMENTOS	PROMEDIO DE TEMPERATURAS > 60 °C	CANTIDAD DE SITIOS CON TEMPERATURAS > 60 °C
Choluteca	81	9
Valle	67	1
Comayagua	84	1
Yoro	63	2
Francisco Morazán	80	2
Lempira	73	3
Atlántida	81	5
Intibucá	75	2
Cortes	63	1
Colon	68	3
El Paraíso	74	3
Copan	92	1
Olancho	62	1

Fuente: (Elaboración propia, 2016)

En el siguiente Gráfico, se observa la cantidad de sitios por departamentos con temperaturas superiores a los 60 °C, según Tabla No. 11.

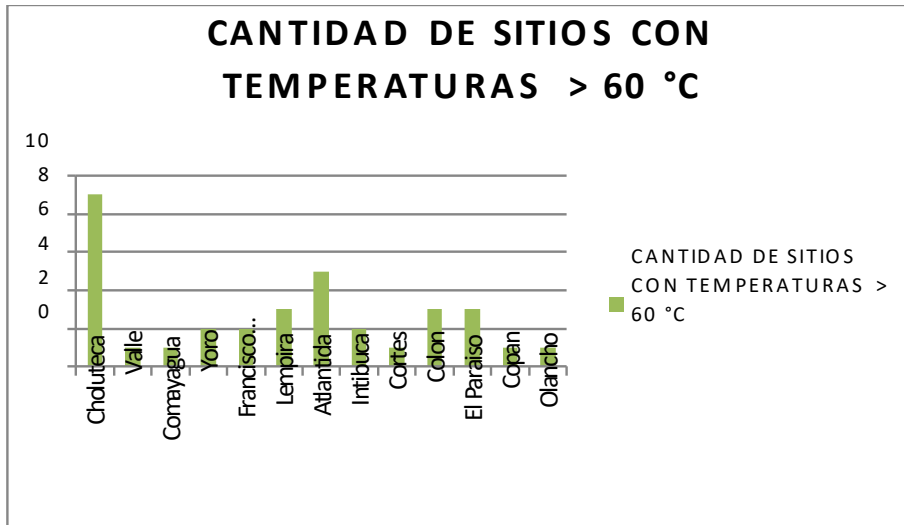


Grafico 5. Sitios por Departamentos con Temperaturas hidrotermales superiores a los 60°C.

Fuente: (Elaboración propia, 2016)

En el siguiente Gráfico, se muestran los datos de conductividades expresadas en el inventario de ENEE, de los 15 sitios hidrotermales con mayores valores de temperatura superficial del fluido. La Conductividad se usa para obtener una estimación rápida y aproximada de la concentración salina o de sólidos disueltos en el agua. Es decir, a mayor Conductividad mayor concentración de sales posee el agua en estudio.

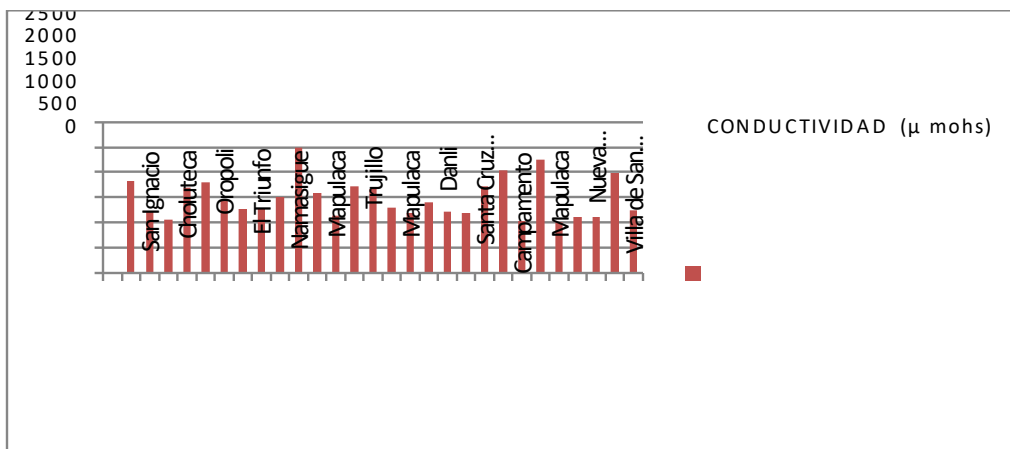


Grafico 6. Conductividad por sitios hidrotermales con temperaturas > 60°C.

Fuente: (Elaboración propia, 2016)

Si se analiza cada una de las Tablas y Gráficos mostrados, según el Inventario Geotérmico de ENEE (1977), se podrá observar que existe un interés en el Departamento de

Cholulteca, ya que tiene la mayor cantidad de manifestaciones con las más altas temperaturas superficiales superiores a los 60°C y con las mayores conductividades en sus manifestaciones hidrotermales, y en donde también pueden tener importancia para usos directos. Es por esta razón que este trabajo se enfoca en profundizar más esta área anómala de interés geotérmico.

A continuación se presentan los esquemas de ubicación de cada una de las manifestaciones de interés para este estudio. Además, se determinan los grupos o zonas que aglomeran tales manifestaciones. Para fines de muestreo, es necesario realizar tal zonificación para luego identificar la relación entre cada una de ellas.

La Figura No.4, que a continuación se presenta, nos muestra en la plataforma del (Google Earth ®), la ubicación de las manifestaciones 8, 19, 23 y 14 del inventario (ENEE/PNUD, 1977), las cuales se encuentran en el municipio de Pavana, departamento de Cholulteca y que corresponden a la zona 1 definida para este trabajo. Para dicha zona se realizó el análisis del sitio 8.

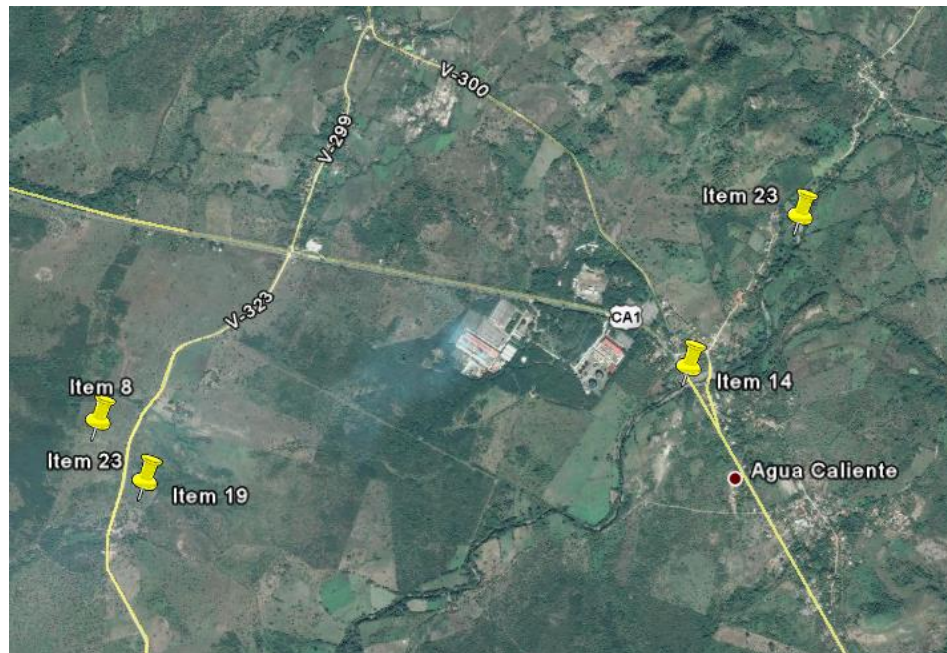


Figura 4. Sitios 8, 19,23 y 14, zona 1. (Muestra representativa 8-Z1)

La Figura No.5, que a continuación se presenta, nos muestra la ubicación de las manifestaciones 1 y 15 del inventario (ENEE/PNUD, 1977), mismas que se encuentran en el municipio de Namasigue, departamento de Choluteca y que corresponden a la zona 2 definida para este trabajo. Para dicha zona se realizó el análisis del sitio 15.

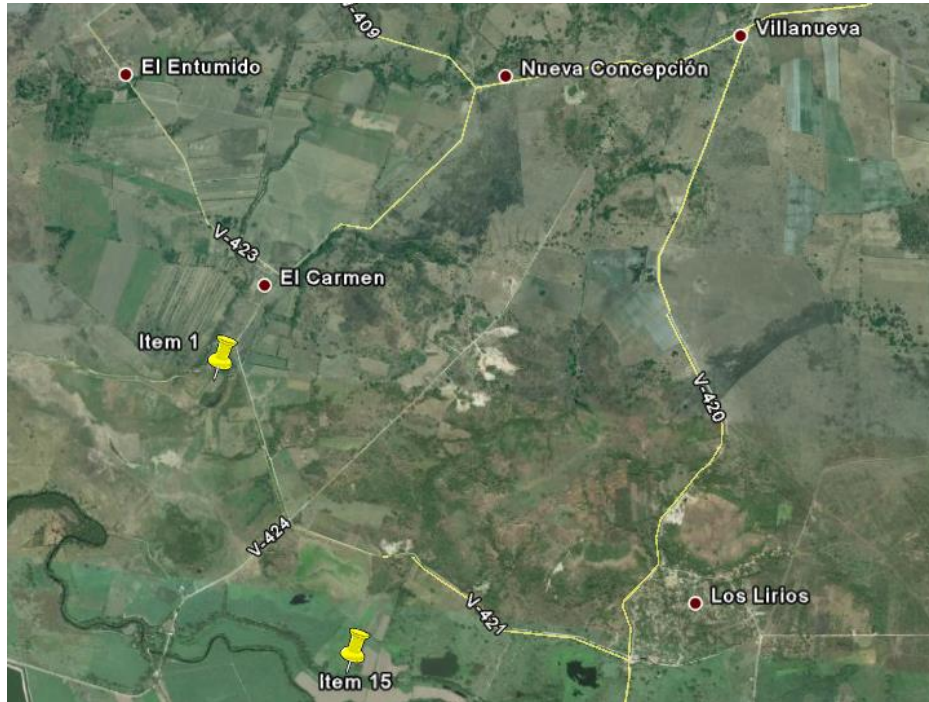


Figura 5. Sitios 1 y 15, zona 2. (Muestra representativa 15-Z2)

La Figura No.6, que a continuación se presenta, nos muestra la ubicación de la manifestación 3 del inventario (ENEE/PNUD, 1977), misma que se encuentra en el municipio de Morolica, departamento de Choluteca y que corresponden a la zona 3 definida para este trabajo. Para dicha zona se realizó el análisis del sitio 3.

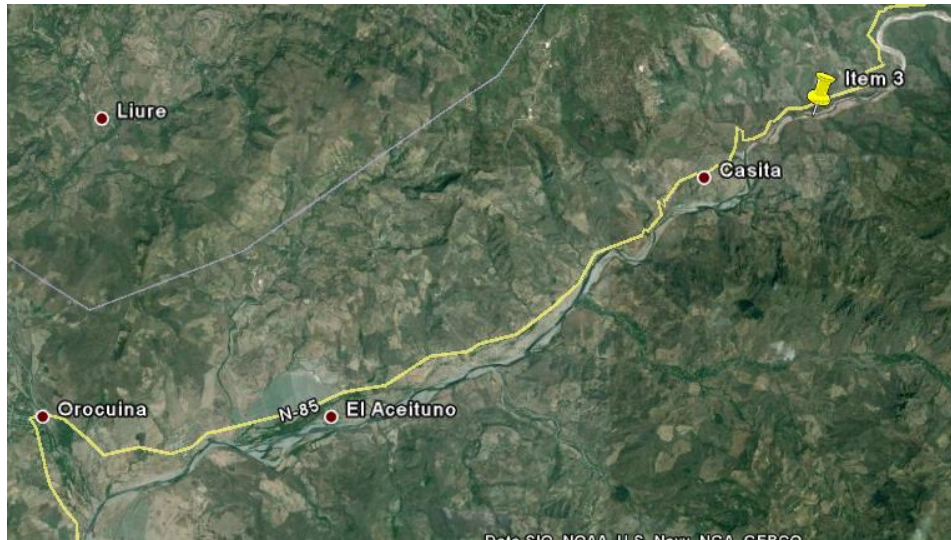


Figura 6. Sitios 3, zona 3. (Muestra representativa 3-Z3)

La Figura No.7, que a continuación se presenta, nos muestra la ubicación de las manifestaciones 12 y 13 del inventario (ENEE/PNUD, 1977), mismas que se encuentran en el municipio de El Triunfo, departamento de Choluteca y que corresponden a la zona 4 definida para este trabajo. Para dicha zona se realizó el análisis del sitio 12.

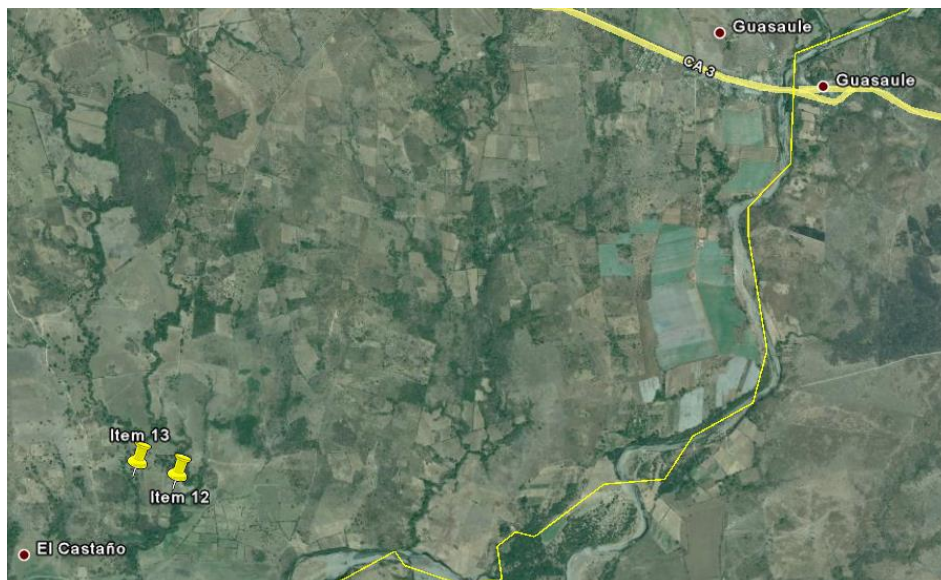


Figura 7. Sitio 12 y 13, zona 4. (Muestra representativa 12-Z4)

2.2 TEORIA DE SUSTENTO

Con base a todo lo anteriormente mostrado, desde la información presentada por el Laboratorio de Los Álamos en su documento (LA-10785-MS, 1991). Al igual que la Información resumida con los resultados plasmados en el documento (Italo- americano, EADRGCA, 2010) y el Inventario Nacional de Fuentes Termales (ENEE/PNUD, 1977), se pueden observar diferencias en los datos presentados respecto a las consideraciones de muestreo, específicamente en su temperatura y posterior estimación del potencial eléctrico.

Si se enmarcan estas diferencias en una zona con un enorme potencial de desarrollo se considera muy importante realizar un estudio o análisis a detalle, usando la actuales variables geo científicas para poder conocer el entorno general de las características reales de la zona con mayor cantidad de manifestaciones aparentes. Se cree que las zona anómalas, por encontrarse a pocos kilómetros del Cinturón de Fuego del Pacífico, deberán tener un potencial que no se ha visto reflejado en ningún estudio. Incluso aunque se descubra que el potencial geotérmico no es rentable para la explotación comercial en la generación de energía eléctrica, los datos obtenidos pueden ser cruciales para la aplicación en usos directos del potencial hidrotermal y expandir la cartera de inversión para productos que precisen este recurso hidrotermal.

La aplicación de tecnologías de aprovechamiento será otro punto de análisis a futuro, ya que podríamos comenzar a pensar en ciclos binarios de generación o sistemas integrados de pre- calentamiento, reduciendo significativamente costos de producción e incrementando capacidad de autoconsumo. Se encuentran también aplicaciones en balneología (aprovechamiento turístico para las aguas), piscicultura, climatización de invernaderos para cultivos alternativos y criaderos de especies que requieren condiciones especiales de temperatura.

La teoría de este documento, se sustenta en el conocimiento de variables geológicas, de manifestaciones existentes, de discrepancias en estudios anteriores, del potencial de desarrollo, de la cercanía del potencial probado y de los puntos de entrega, de los índices de desarrollo y calidad de vida y sobre todo de la capacidad técnica existente en el país para realizar un estudio geo científico que presente una realidad, por medio de una modelación geoquímica del recurso

disponible en la zona, y de esta manera enfocar esfuerzos encaminados a continuar investigando y actualizando un modelo conceptual geotérmico.

2.3 CONCEPTUALIZACION

Este trabajo, pretende desarrollar una investigación de geoquímica de exploración, la cual consiste en la ejecución y evaluación de toda una serie de análisis de campo y laboratorio reflejados en graficas especializadas donde se podrán apreciar las condiciones físico-químicas de las manifestaciones hidrotermales, posible temperatura del reservorio, clasificación de aguas en relación a su origen y fuente de calor.

La Geoquímica de Exploración, es una de las etapas del reconocimiento del potencial geotérmico de un campo que permite ofrecer una idea del origen y composición de los manantiales hidrotermales. Una vez que se logre identificar sus características particulares, se podrá continuar con las siguientes fases de la etapa de Reconocimiento.

Se estimarán las temperaturas en los reservorios mediante la aplicación de Geotermómetros, los cuales son una serie de minerales que responden a condiciones diferentes de temperatura y un análisis en laboratorio de los mismos nos darán estimaciones precisas de temperatura en relación a las muestras obtenidas en campo.

Se identificará el origen y flujos dentro de los reservorios mediante un análisis Isotópico, mediante la determinación en el laboratorio de cambios en sus concentraciones.

Una vez conociendo la física- química de las manifestaciones hidrotermales bajo estudio, se podrá determinar o clasificar el conjunto de manifestaciones o campo de exploración mediante su Entalpia, cuyo concepto es la energía de un sistema termodinámico como lo es un sistema geotérmico.

2.4 INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS

A continuación, se presenta la siguiente Tabla en donde se resume todas las variables al igual que los métodos de medición y obtención de las variables, los equipos utilizados, marca y modelo de los mismos.

Tabla 12. Tabla de resumen de variables encontradas, los métodos empleados y los equipos utilizados

VARIABLES DE MEDICION	METODO DE ANALISIS	EQUIPO	MARCA ®	MODELO
TEMPERATURA	Medición directa en campo	Termómetro	VWR	
pH	Medición directa en campo y laboratorio	pH metro	HACH	MM-150
CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA	Medición directa en campo y laboratorio	Conductivímetro	WTW	197-I
Na+, K+, Ca 2+, Mg 2+, Li+	Absorción atómica con llama de aire- acetileno y óxido nitroso- acetileno	Espectrofotómetro de absorción atómica	VARIAN	AA-240
Cloruros (Cl-)	Titulación con nitrato de plata	Volumetría		
Sulfatos (SO ₄ 2-)	Sulfaver 4 /HACH	Espectrómetro UV visible	HACH	DR-2400
Bicarbonatos (HCO ₃ -)	Titulación por retroceso con ácido clorhídrico, hidróxido de sodio y gas nitrógeno	pH metro/volumetría	ORION	410A
Carbonatos (CO ₃)	Titulación por retroceso con ácido clorhídrico, hidróxido de sodio y gas nitrógeno	pH metro/volumetría	ORION	411a
Anhídrido Carbónico (CO ₂)	Titulación por retroceso con ácido clorhídrico, hidróxido de sodio y gas nitrógeno	pH metro/volumetría	ORION	412a
Alcalinidad Total	Suma de HCO ₃ y CO ₃			
Fluoruros (F-)	Electrodo selectivo de flúor	Electrodo selectivo	OMEGA	PHB-23
Nitrógeno-Nitratos (N-NO ₃)	Reducción de cadmio	Espectrómetro UV visible	HACH	DR-2800
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	Salicilato	Espectrómetro UV visible	HACH	DR-2800
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	Azul de metileno	Espectrómetro UV visible	HACH	DR-2800
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	Molibdato de sílice	Espectrómetro UV visible	HACH	DR-2800
δD o/oo y δ 180 o/oo	Tecnología laser	Equipo laser para isotopos	logatos	Generación 2

Fuente: (Gems water, OIEA, 2004; Laboratorio de ENEE, 2016)

2.5 APLICACIONES PARA EL RECURSO HIDROTHERMAL DE ESTUDIO

A continuación se presentan escenarios no convencionales en el aprovechamiento de usos directos para el recurso hidrotermal, permitiendo así presentar alternativas de desarrollo diferentes a la generación de energía eléctrica con geotermia.

a. Aprovechamiento de la Energía Térmica.

Existen diversas fuentes que clasifican los sistemas geotérmicos basados en la relación directa de temperatura y entalpia, uno de los más comunes es el presentado por las el Instituto Geológico y Minero de España, en donde:

Alta entalpia: $T > 150^{\circ}\text{C}$

Media entalpia: $100^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$

Baja entalpia: $30^{\circ}\text{C} < T < 100^{\circ}\text{C}$

Muy baja entalpia: $T < 30^{\circ}\text{C}$

Sistemas submarinos: $T \approx 300^{\circ}\text{C}$

Sistemas magmáticos: $T \approx 800^{\circ}\text{C}$

En la siguiente Tabla, podemos observar otra clasificación de temperatura y los usos asociados a la misma.

Tabla 13. Clasificación de entalpia, según su temperatura.

TEMPERATURA DE RESERVORIO	FLUIDO	USO	TECNOLOGIA APLICADA
Alta entalpia $>220^{\circ}\text{C}$	Agua o Vapor	Generación Eléctrica	Flaseo vapor, Ciclo Binario
		Usos directos	Usos directos del fluido, intercambiadores y bombas de calor
Intermedia entalpia $100-220^{\circ}\text{C}$	Agua	Generación Eléctrica	Ciclo Binario
		Usos Directos	Usos directos del fluido, intercambiadores y bombas de calor
Baja entalpia $50-150^{\circ}\text{C}$	Agua	Usos Directos	Usos directos del fluido, intercambiadores de calor

Fuente: [http:// www.worldbank.org/html/fpd/energy/geothermal/tecnology.htm](http://www.worldbank.org/html/fpd/energy/geothermal/tecnology.htm)

b. Usos Directos.

- Bombas de calor geotérmico, esta aplicación utiliza la energía del calor en reservorios poco profundos, para calentar y refrigerar edificios. Una bomba de calor de estas características consiste en unos tubos sepultados en el terreno, un intercambiador de calor y un sistema de conductos en el interior de la instalación. La idea básica consiste en obtener energía térmica del reservorio y transmitirla, a través de los sistemas adecuados.
- El mismo principio se podría utilizar de forma inversa, trasladando el calor innecesario al suelo. La temperatura constante del suelo, que oscila entre 10-16 °C a 10m de profundidad, ofrece las mejores condiciones para funcionar de manera integrada con el sistema de calefacción y refrigeración de una instalación.
- Acuicultura y crianza de animales: El agua a diferentes temperaturas se utiliza para criar algunas especies de peces, plantas y reptiles acuáticos que necesitan determinada temperatura, un ejemplo de estos son los cultivos de salmones, camarones, cangrejos, robalo, carpas, musgos, hongos marinos, tortugas y cocodrilos.
- Secado de alimentos y madera: el agua caliente de baja y media entalpia se utiliza para precalentar grandes planchas metálicas, las cuales posteriormente servirán para secar y deshidratar alimentos y maderas.
- Baños y albercas: los “spas” y “resorts” utilizan las fuentes naturales de agua caliente para llenar balnearios, y en algunos el agua está fluyendo continuamente para mantenerlos calientes.

En la siguiente Tabla, se muestra un resumen de las actividades de aprovechamiento en base a su temperatura.

Tabla 14. Tabla resumen para el uso directo de las aguas hidrotermales.

BALNEOLOGIA (25-35° C)	Baño en manantiales termales
AGRICULTURA (50-100° C)	Invernaderos y calentamiento del suelo
ACUACULTURA (20-50° C)	Cría de peces, camarones y cocodrilos
USOS INDUSTRIALES (100-150°C)	Secado de productos y calefacción
CALEFACCION O ENFRIAMIENTO DE RESIDENCIAS (100- 150°C)	Bombas de calor

Fuente: Programa regional de entrenamiento geotérmico, 2013.

En la siguiente Figura, se muestra esquemáticamente el aprovechamiento directo del recurso hidrotermal, con base a diferentes fines comerciales correlacionados con su temperatura. Este Grafico también nos muestra un abanico de oportunidades, muchas de ellas todavía no desarrolladas en nuestro país.

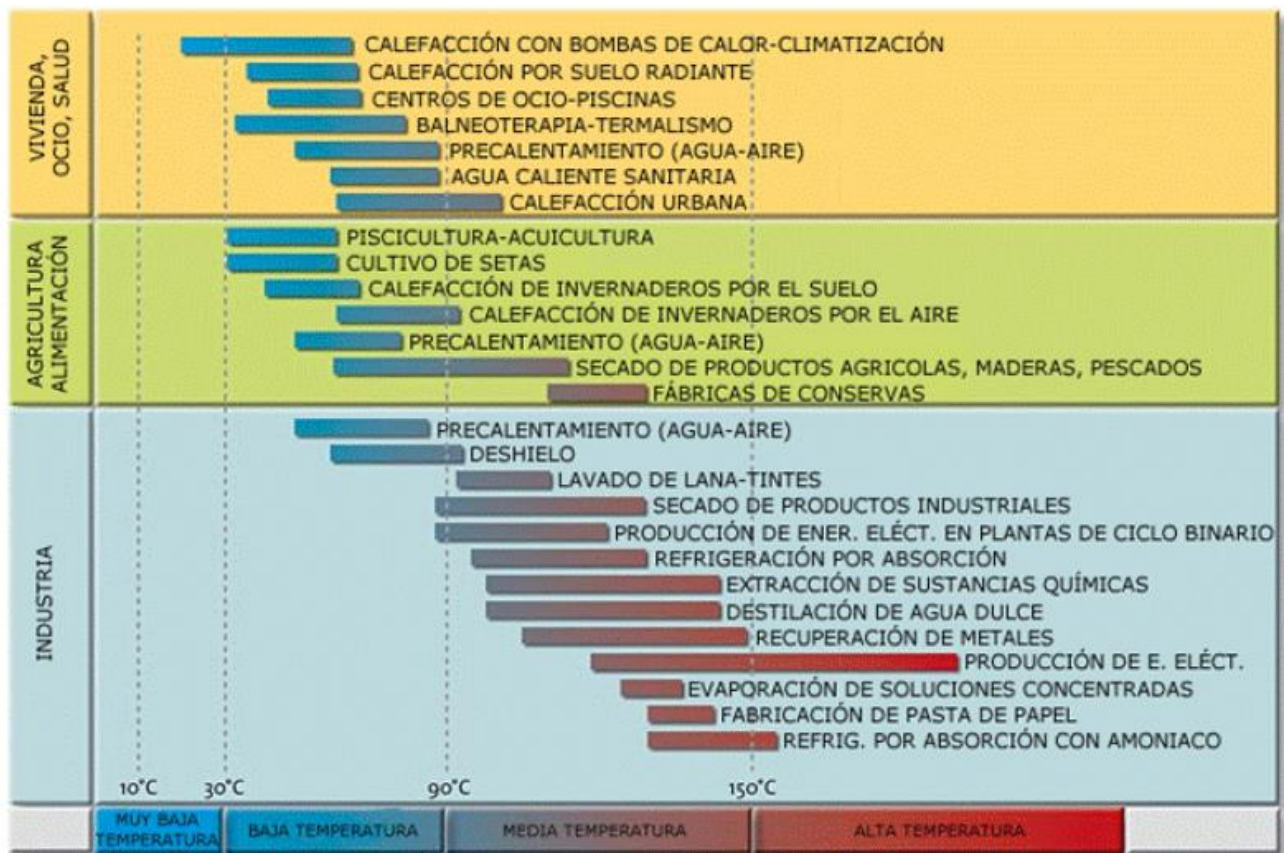


Figura 8. Aprovechamiento para usos directos, en base a su temperatura

Fuente: Fuente: Programa regional de entrenamiento geotérmico, 2013.

c. Ciclo Binario

Utilizan el agua del reservorio para transferir el calor a un segundo líquido que tiene una temperatura de evaporación más baja. Cuando este líquido se evapora mueve turbinas. Posteriormente se condensa este vapor y se reutiliza el líquido nuevamente. Este último sistema, en comparación con los otros, es el que tiene más perspectivas de futuro. No emite ningún tipo de gases, puesto que es un ciclo cerrado, y funciona con temperaturas inferiores de 110 a 160 °C.

En la siguiente Figura, se observa un esquema de aprovechamiento para la generación de energía eléctrica mediante un ciclo binario, utilizando intercambiadores de calor para hacer evaporar un segundo fluido el cual térmicamente se convertirá en un gas, el que hará mover una turbina para luego ser condensado y repetir el ciclo (Entrenamiento Regional Geotérmico, 2013)

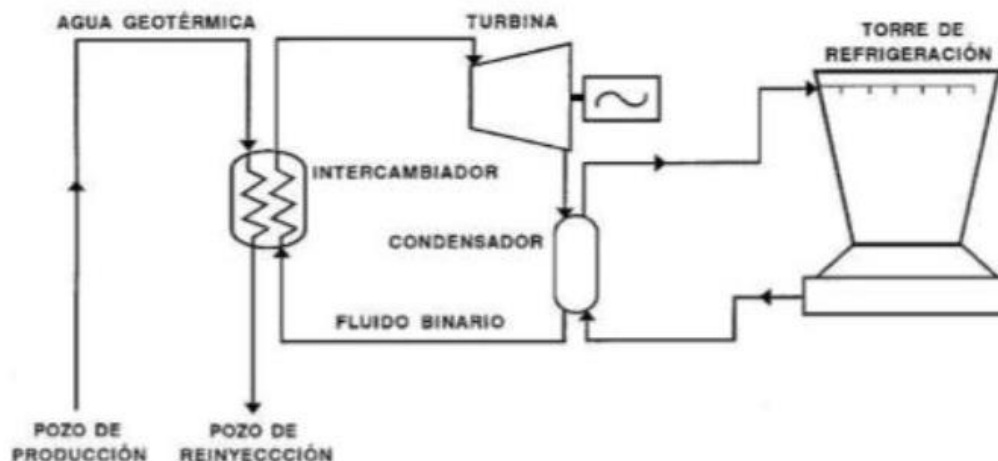


Figura 9. Diseño esquemático ciclo binario

Fuente: Programa regional de entrenamiento geotérmico, 2013.

d. Aporte al Modelo Conceptual Geotérmico

El aporte de este trabajo servirá de plataforma para investigaciones futuras, las que obviamente requerirán de una necesaria integración de otras ciencias que participarán en la conceptualización geotérmica del país.

La Geoquímica, es una de las primeras etapas en la evaluación del potencial geotérmico. No se puede continuar con los estudios complementarios, si no se tiene definida la geotermometría, la clasificación e isotopía de las aguas y posibles reservorios.

Con base a la Figura que a continuación se presenta, se podrá decir que estudios investigativos de este tipo, logran definir un recurso POSIBLE de uno PROBABLE, o un recurso NO DESCUBIERTO a uno POSIBLE, reduciendo las variables dependientes para cada escenario de aprovechamiento.

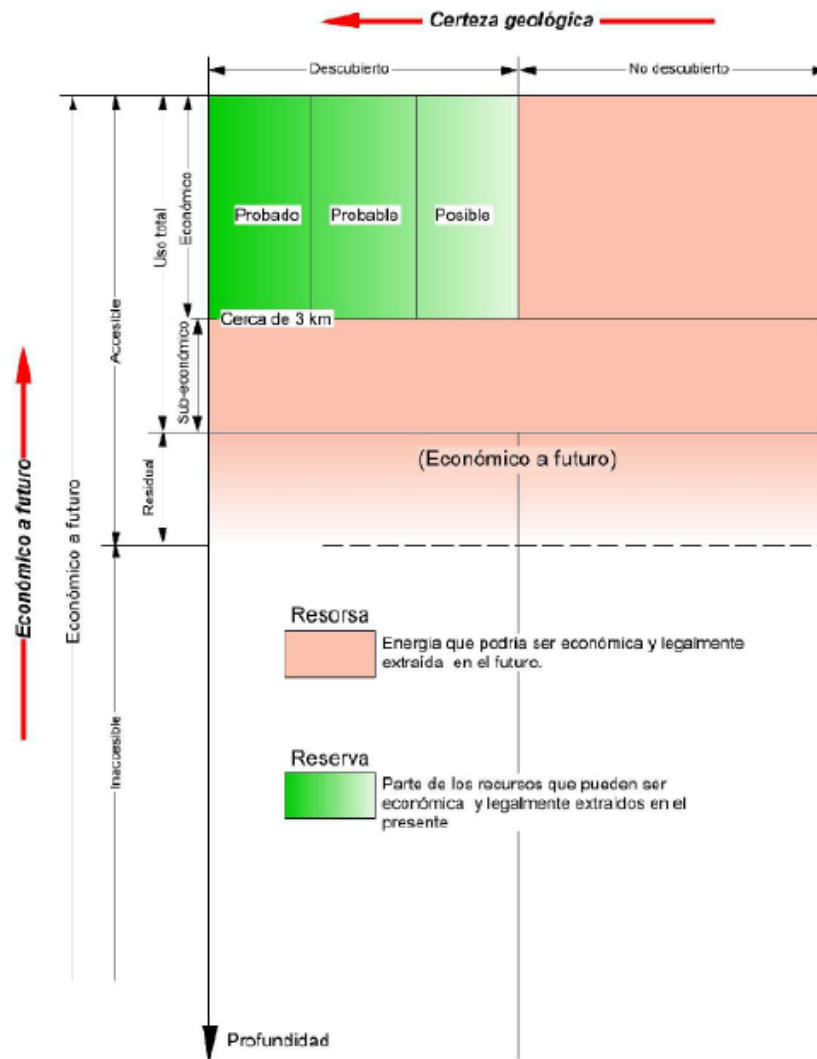


Figura 10. Esquema para la clasificación de rentabilidad en el aprovechamiento del recurso.

Fuente: Programa regional de entrenamiento geotérmico, 2013.

Como se podrá observar en la siguiente Figura, la elaboración del modelo conceptual incluye el aporte integral de diferentes ciencias de la tierra, por tanto la geoquímica a nivel de exploración sirve como indicador científico para evaluar cada una de las subsiguientes actividades.

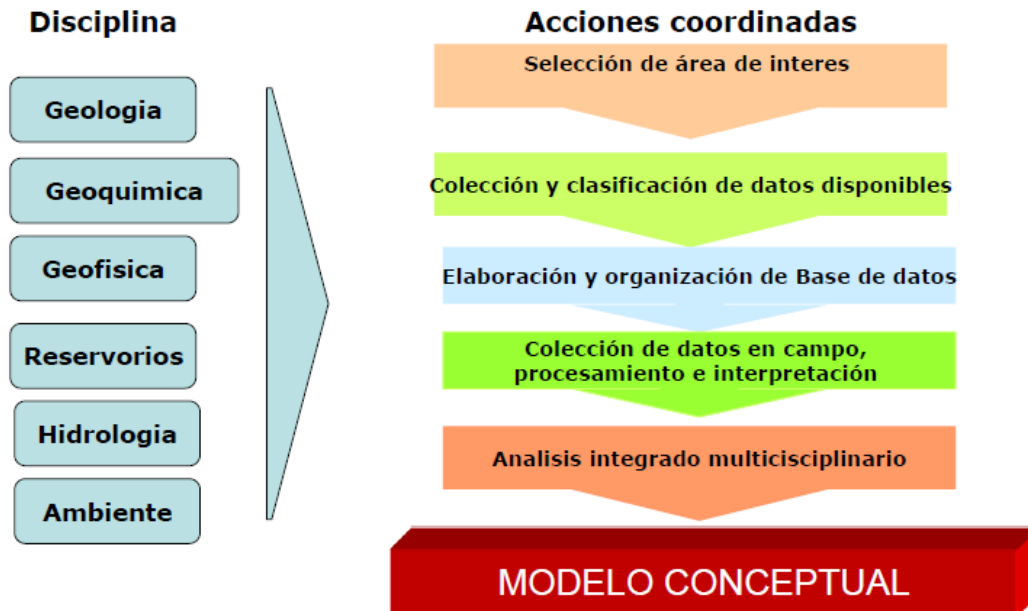


Figura 11. Esquema integrado en la elaboración del modelo conceptual geotérmico

Fuente: Programa regional de entrenamiento geotérmico, 2013.

2.6 MARCO LEGAL

Honduras, actualmente está pasando por un periodo de reestructuración en su legislación. Específicamente el sector energético, está regido principalmente por la Ley General de la Industria Eléctrica 404-2013, publicada el 20 de Mayo del 2014, la que todavía deja muchos espacios a considerar.

Como la nueva Ley de la Industria eléctrica hace mención a la ley de Promoción a la Generación de Energía Eléctrica con Recursos Renovables 70-2007, publicada el 2 de Octubre del 2007, la que en varios sentidos queda aún vigente se debe hacer mención de algunos artículos que también conciernen a la explotación de los recursos geotérmicos.

ARTÍCULO 1.- la presente ley tiene como finalidad principal promover la inversión pública y/o privada en proyectos de generación de energía eléctrica con recursos renovables nacionales a través de la realización de los objetivos siguientes:

- 1) Propiciar la inversión y desarrollo de proyectos de recursos energéticos renovables, que permitan disminuir la dependencia de combustibles importados mediante un aprovechamiento de los recursos renovables energéticos del país que se compatible con la conservación y mejoramiento de los recursos naturales.
- 2)
- 3)
- 4)
- 5)
- 6) Buscar nuevas alternativas a las fuentes tradicionales de energía, y de esta manera establecer la diversidad en la generación de energía eléctrica para garantizar un equilibrio en el sistema eléctrico.

ARTÍCULO 7.- Podrán acogerse al Régimen Especial de Incentivos establecido en esta Ley aquellas instalaciones de producción de energía que utilicen como energía primaria alguna de las energías renovables no consumibles, biomasa o cualquier tipo de bio- carburante. Las instalaciones del régimen especial antes mencionado se definen como:

- 1);
- 2);
- 3) Instalaciones abastecidas únicamente por energía geotérmica, energía de las olas de mar o de mareas y rocas calientes y secas.

ARTÍCULO 22.- Los proyectos de generación de energía eléctrica con recursos naturales nacionales que utilicen para su producción recursos naturales diferentes a la fuerza hidráulica de las aguas nacionales, tales como los que utilicen recursos eólicos, solar, biomasa, geotérmico, energía de mar o mareas, y residuos urbanos, obtendrán la concesión de uso para el aprovechamiento del recurso natural utilizado para la generación de energía y del área correspondiente donde se encuentre el recurso natural renovable, del desarrollo e instalaciones

del proyecto, a través de los respectivos Contratos de Operación y en el mismo se establecerá las modalidades para el uso y aprovechamiento de dichos recursos naturales.

Cabe hacer mención que el **Decreto 138-2013**, el cual es una reforma a la **Ley 70-2007**, no hace ninguna referencia sobre el aprovechamiento de la geotermia en ninguna de las etapas de estudio.

Dentro de las recomendaciones de este trabajo, es la de continuar fortaleciendo el área de la Geotermia, para su aprovechamiento como fuente de inversión, que obligara a la formulación y propuesta de una ley especial para la exploración, explotación y abandono de la geotermia para fines científicos y comerciales, incluyendo todos los aspectos que componen un desarrollo completo e integrado, fomentando el interés por el sostenible aprovechamiento del recurso.

Países como Nicaragua, el cual regula la exploración y explotación del recurso geotérmico a través de la Ley Especial N° 443, firmada el 24 de Octubre del 2002, misma que califica y ratifica el recurso geotérmico como interés nacional, priorizando su aprovechamiento para el desarrollo del país, son un claro ejemplo del interés de buscar y promover la inversión o la simple exploración de manera ordenada, regulada y que vele por los intereses del país.

CAPITULO 3. METODOLOGIA

3.1 CONGRUENCIA METODOLOGICA

La Geoquímica, aplicada en este trabajo, está basada en la “*GUIA PARA ESTUDIOS DE RECONOCIMIENTO Y PREFACTIBILIDAD GEOTERMICOS*”, elaborado en Quito, Ecuador por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE, 1994) y financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), donde participaron empresas públicas, privadas, expertos latinoamericanos y extranjeros.

Dicha guía forma parte de un grupo de documentos cuyo objetivo es suministrar a los países de la región un instrumento que les permita conocer, investigar y aprovechar sus recursos geotérmicos como una fuente alterna que les lleve a satisfacer al menos parcialmente sus requerimientos de energía.

Se pretende, con el seguimiento de esta guía metodológica, obtener resultados que evidencien, mediante el análisis geoquímico, el potencial geotérmico, requerido como aporte fundamental para la determinación del modelo conceptual de la zona bajo investigación.

3.1.1 OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES

En la Figura No.6, se esquematizan las variables correspondientes a la elaboración de la geoquímica de exploración, la cual dará una representación gráfica y determinará la clasificación de las aguas hidrotermales y posibles temperaturas en el reservorio.

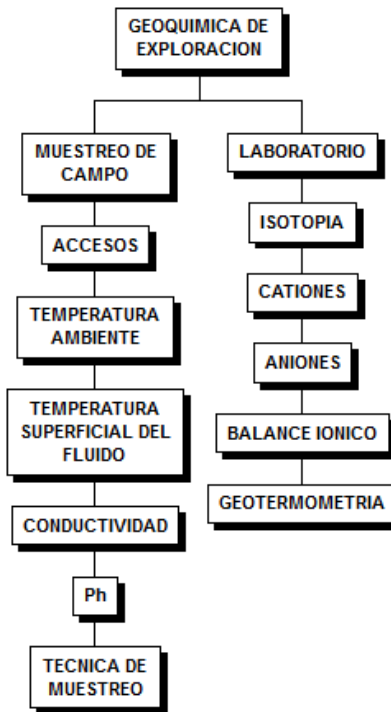


Figura 12. Esquematización de las variables.

Fuente: (Elaboración propia, 2016)

Los Accesos: este es un punto a considerar, debido a que podría imposibilitar el muestreo exploratorio en las zonas previamente definidas.

La Temperatura Ambiente: importante a considerar ya que se requiere su conocimiento para la calibración de los equipos de medición isotópica.

La Temperatura Superficial del Fluido: el inventario base de ENEE presenta temperaturas superficiales para los sitios con manifestaciones anómalas. La recopilación y re-evaluación de este documento se basa en primera instancia en estas temperaturas superficiales las cuales tendrán que ser comprobadas como elemento clave para la elaboración del método científico.

La Conductividad: importante parámetro que nos permitirá determinar rápidamente el contenido mineral de las aguas y su posible origen.

El pH: la acidez o alcalinidad del fluido hidrotermal que se analizara ayudará a definir de mejor manera el origen de la recarga en el reservorio al igual que la calibración en relación a los reactivos analizados y el proceso de mezcla si la hubiera.

La Geo-termometría: permite la estimación de la temperatura del sub suelo mediante la aplicación de geotermómetros específicos para geotermia y el análisis comparativo de los resultados.

La Isotopía: esta variable permite establecer orígenes, identificar zonas de carga y descarga, identificar mezclas de diferentes tipos de agua y patrones de movimiento de los fluidos geotérmicos, etc.

Variables Dependientes

La composición físico- químico del agua hidrotermal de estudio, se determinó en el Laboratorio Químico de la ENEE mediante ensayos específicos bajo modelos estándar para aguas geotérmicas, (Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y el Philippine National Oil Company (PNOC), Manual de Procedimientos de Laboratorio, (1997). Estas variables, dependerán de las características encontradas tanto en el campo como en la aplicación de los métodos de laboratorio. Además, en algunos casos, se usó el Standard Methods, 20th edition, (1999).

Variables Independientes

Dentro de las variables independientes se determinaran características cualitativas de los minerales y composición del fluido hidrotermal.

3.2 ENFOQUE Y METODO

Partiendo de la valoración estadística del inventario de manifestaciones hidrotermales en la zona sur de Honduras, se han identificado una serie de sitios agrupados y posiblemente relacionados entre sí, se ha ejecutado muestreo exploratorio en 4 zonas de mayor interés con base a su temperatura superficial. Para la elaboración del análisis geoquímico se seguirá la guía propuesta en el documento Guía para Estudios de Reconocimiento y Pre factibilidad Geotérmicos. (Instituto Italo-Latinoamericano, GERPG, 1994, pag.30).

3.2.1. Muestreo en Campo.

Se tomó nota de las variables independientes antes mencionadas, condiciones del entorno y a floraciones visuales de la geología predominante del lugar, también del aprovechamiento que se le esté dando a los fluidos hidrotermales (balneología y otros), caminos de accesos, ubicación

georreferenciada, vegetación local, afectación de la temperatura de la manifestación en la flora y sobre todo la clasificación del tipo de anomalía.

Las variables independientes: temperatura ambiente y superficial del tipo de manifestación, pH y Conductividad se tomaron en el campo con el equipo requerido, aplicando las técnicas de recolección de muestras en manantiales que indica la Guía para el Reconocimiento de Campos Geotérmicos (OLADE, GERPG, 1994, pag.33).

Se requiere del uso de botellas de 100 ml, 500 ml y 1,000 ml, tanto plásticas como de vidrio según lo requiera el método. Antes de coleccionar las muestras se limpia con el agua hidrotermal del lugar que se recolectara, se deberán coleccionar seis muestra por cada sitio, para el análisis de cationes se requiere un bote plástico de 1,000 ml, acidificado con 2 ml de ácido nítrico. Para el análisis de aniones se requiere un bote plástico de 500 ml, sin acidificar. Para el análisis de pH, Bicarbonatos, Carbonatos y CO₂ un bote de vidrio 500 ml, sin acidificar. Para el análisis de Amonio, un bote 500 ml de vidrio, acidificado con 1ml de ácido sulfúrico. Para el análisis de H₂S (sulfuro de hidrogeno), un bote 100 ml de vidrio, acidificado con 3 ml de acetato de zinc. Para el análisis de isotopos, un bote de 80ml vidrio ámbar oscuro, sin acidificar.

El objetivo de la acidificación o conservación en este caso, es mantener las condiciones inalterables del agua muestreada para los análisis, de tal forma que las demás especies químicas presentes en la muestra, no interfieran con los elementos de interés. Las cuales son técnicas de muestreo para métodos estándar. Además de las muestras anteriores se deberán tomar muestras para análisis de los isotopos estables más predominantes en agua geotérmicas, como lo son el Oxígeno ¹⁸ y Deuterio (Standard Methods 20th edition, 1999).

3.2.2. Trabajo de Laboratorio.

En base a los (Standard Methods 20th edition, 1999) y a la Guía para Estudios de Reconocimiento y Pre factibilidad Geotérmicos (OLADE, GERPG, 1994), la determinación de los datos y el análisis de los resultados será llevado a cabo en el Laboratorio Químico de ENEE.

Se analizaron los resultados de las concentraciones de la Sílice y de los cationes de Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio y Litio, los cuales son importantes en la determinación del balance iónico de las aguas geotérmicas, dicho balance clasifica el tipo de agua en base a su composición molecular. De igual manera, se determinaron los aniones predominantes en aguas geotérmicas como lo son: los Bicarbonatos, Cloruros, Sulfatos, Nitratos y Flúor, igualmente necesarios para el balance iónico de las aguas. Posteriormente se clasifican las aguas mediante gráficos específicos que servirán posteriormente para su interpretación. Para ello, el software utilizado es el Aquachem®.

3.2.3. Interpretación de los Resultados Geoquímicos Obtenidos.

Existen varios métodos aplicados al análisis e interpretación de datos geotérmicos. Sin embargo la Guía de OLADE a la que nuevamente hacemos referencia, es la que se toma como guía ya que son métodos aplicados en la región y fácilmente relacionados a características propias en Latinoamérica, para este caso, la guía nos indica lo siguiente partiendo de los análisis de laboratorio.

Con base a los algoritmos de concentración de solutos o especies isotópicas, se usarán los Geotermómetros de sílice (Fournier; Potter, 1982), basado en la solubilidad del cuarzo y también el de Sodio-Potasio-Calcio (Fournier; Truesdell, 1973).

La comprobación de la calidad de estos estudios se realizara mediante un Balance Iónico, estipulado en el documento Guía. Los datos para esta investigación se presentan mediante Diagramas Triangulares de Piper y Diagramas Poligonales de Stiff, aplicados para el análisis de los resultados geoquímicos. El Diagrama de Piper, relaciona las concentraciones de cationes en un primer triangulo y la concentración de aniones en un segundo triangulo, estos a su vez se interceptan en una figura romboidal para que luego sean interpretados los resultados mediante la clasificación mostrada en la Figura No.13, que a continuación se presenta.

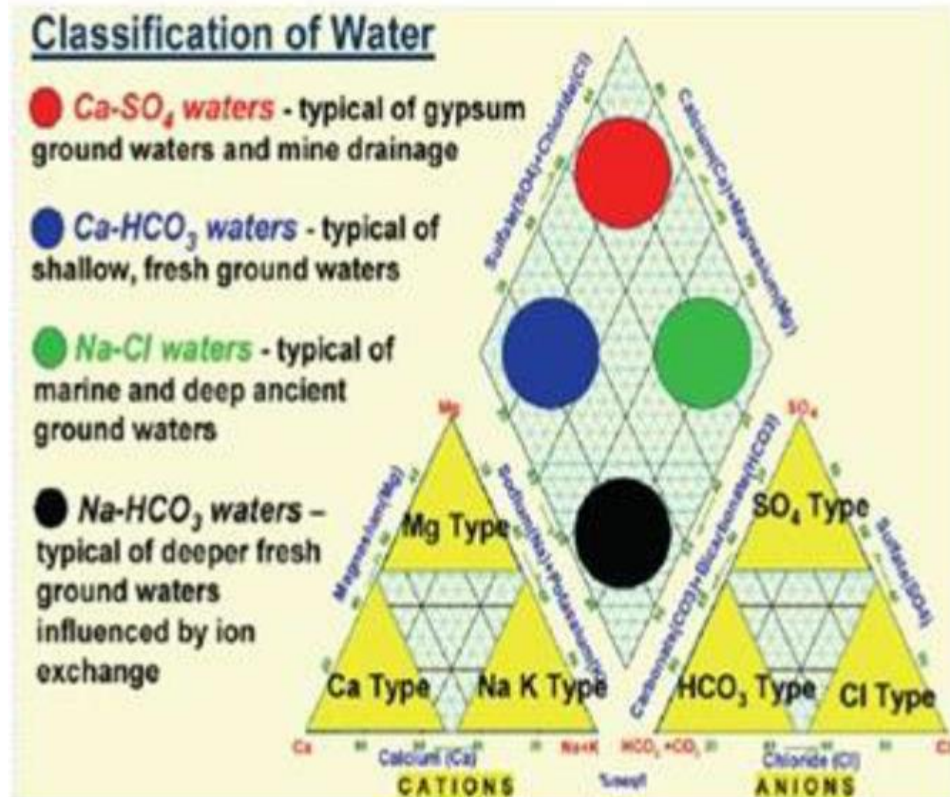


Figura 13. Interpretación de las aguas según PIPER

Fuente: Entrenamiento Regional de Geotermia, 2013

En la siguiente Figura, se podrá visualizar esquemáticamente la secuencia metodológica en el proceso de obtención de resultados y elaboración del trabajo de investigación.

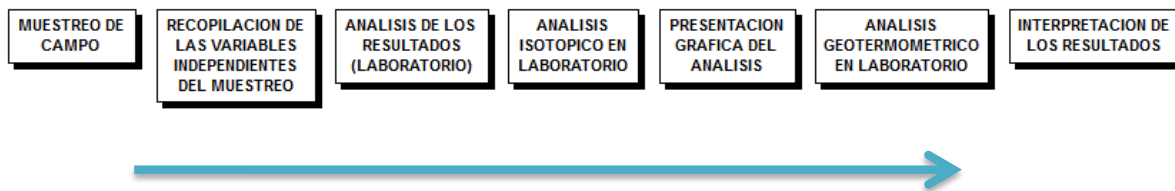


Figura 14. Flujo de la metodología a emplear en este trabajo.

Fuente: (Elaboración propia, 2016)

3.3 MATERIAL

Para el muestreo exploratorio de campo:

Termómetro, equipo de medición de pH, Conductivímetro, botellas para muestras líquidas sin dilución y acidificadas, filtros (0.5-0.4 μm), ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido sulfúrico, acetato de zinc, botellas para isótopos estables.

Para el análisis de Laboratorio:

pH, conductividad eléctrica, aniones SO_4^{-2} , HCO_3^{-2} , Cl^- , F^- , NO_3 y cationes de Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Li^+ y SiO_2 , además Oxígeno-18 y Deuterio.

Espectrofotómetro de Absorción Atómica, Espectrógrafo de Masas, Potenciómetro, Espectrofotómetro Ultravioleta/Visible, pH-metro, Conductivímetro, etc.

3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACION

El modelo de investigación propuesto con base científica, llevara a verificar los objetivos planteados mediante el análisis e interpretación de los resultados, mismos que serán comparados con proyecciones y resultados previamente descritos en investigaciones anteriores que no cuentan con memoria de cálculo y graficas de interpretación.

El resultado final de esta investigación se verá reflejado en graficas de clasificación de aguas hidrotermales, específicamente de la zona sur y de carácter particular para cada sitio, se analizaran mediante muestreo exploratorio las manifestaciones más relevantes de la zona sur del país.

3.4.1 POBLACION

Con base al inventario de ENEE- PNUD de 1977, para los sitios con manifestaciones hidrotermales en todo el territorio nacional, se podrá decir que la población se enfoca en dichas manifestaciones, un total de 51 sitios con afloraciones hidrotermales, ver anexos 1al 4.

3.4.2 MUESTRA

Para esta investigación se tomara una comparación de 9 manifestaciones hidrotermales, divididas en 4 grupos catalogadas por su relación morfológica, por lo que el total de muestras serán 4, las que representaran los 9 sitios con temperaturas mayores a 60°C de la zona sur de interés.

3.4.3 UNIDAD DE ANALISIS

Como resultado de análisis previos, se logró observar un patrón claramente sobresaliente en las características de las manifestaciones de la zona sur de Honduras, estos patrones (véase Gráfico 4, cap.2.1.3, pág. 44), donde se exponen la cantidad de sitios con temperaturas superficiales mayores a los 60°C, y con las mayores conductividades.

3.4.4 UNIDAD DE RESPUESTA

Con la interpretación de los datos químicos obtenidos del laboratorio, se conocerán las características físico- química de las aguas y se realizara una clasificación de las manifestaciones estudiadas, lo que se verá reflejado en los Gráficos de todas las variables encontradas. Durante este análisis se determinarán: Temperaturas superficiales y de reservorio (°C), Origen de las aguas, Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Dureza Total (mg/L), Alcalinidad (mg CaCO_3/L), concentraciones de las diferentes especies químicas, Balance Iónico (meq/L) y otras unidades de control que consideramos relevantes durante el análisis de los resultados, claramente observados mediante Diagramas de Piper y Stiff.

3.5 TECNICAS Y TRABAJOS EJECUTADOS

Se presentan a continuación las técnicas con base a la guía de OLADE (1994), para el desarrollo de la exploración geotérmica en Latinoamérica y los instrumentos básicos con que se elaborara esta investigación y que cuenta el Laboratorio Especializado de ENEE, además de los métodos estándar aplicados con el fin de establecer características cuantitativas y cualitativas que nos ayudaran a lograr los objetivos propuestos.

3.5.1 TRABAJOS EJECUTADOS

Muestreo de campo: donde se medirán variables puntuales, se tomaran muestras para futuro análisis en laboratorio y una inspección del entorno a criterio del especialista.

Laboratorio: una vez realizado el trabajo de campo, se procedió a seguir, paso a paso, los lineamientos técnicos del laboratorio haciendo uso de una serie de equipos especiales que nos permite obtener la composición cualitativa y cuantitativa de los diferentes fluidos geotérmicos muestreados. Con base en los resultados obtenidos, se ejecutó la necesaria interpretación de los mismos mediante diagramas especiales que permiten la clasificación de aguas geotérmicas.

3.5.2 TECNICA

Las técnicas aplicadas, para la obtención de los resultados requeridos, han sido la Observación simple, Muestreos directos en manantiales según (GERPG, 1994, pag.30), Acidificación y Conservación de muestras para Isotopo Estables, Análisis de Laboratorio, Balance Iónico, aplicación de Geotermómetros, y análisis Espectro-gráficos. Según (laboratorio ENEE).

3.6 FUENTES DE INFORMACION

3.6.1 FUENTES PRIMARIAS

Se basan en:

Muestreos, observación de campo, resultados de laboratorio, graficas de resultados, cuadros de interpretación y guías técnicas de aplicación específica.

3.6.2 FUENTES SECUNDARIAS

Se basan en:

Libros, Estudios Previos, Georreferenciación, Datos de Gobierno y entes internacionales en relación al tema, y cualquier información que durante la etapa de la investigación fue relevante.

3.7 LIMITANTES DEL ESTUDIO

Este estudio presenta retos particulares, debido a la poca información disponible sobre en la zona de interés. Sin embargo enunciaremos algunos puntos que limitan esta investigación:

- Costo general de la investigación, desde el muestreo, obtención y análisis de datos..
- Campos geotérmicos probados, cuya fuente de calor es el tectonismo activo, lo cual limita la comparación de datos.
- Falta de incentivo e interés en la investigación de la zona y ausencia de seguimiento de los estudios que incluyan otras disciplinas geo científicas.

CAPITULO 4. RESULTADOS E INTERPRETACION

4.1 COMPARACION ENTRE UNIDAD DE ANALISIS Y ENCUESTA

Con base en la clasificación de manifestaciones hidrotermales y tomando en cuenta las condiciones previamente identificadas en el inventario geotérmico nacional. (Ver anexos 1 al 4), como lo son: la temperatura superficial de la manifestación hidrotermal, las Conductividades del recurso hidrotermal y la ubicación a lo largo de la zona de exploración en el departamento de Cholulteca, se determinaron 4 zonas representativas, En estos sitios, se localizan las 9 mayores manifestaciones encontradas en el departamento de Cholulteca, mostrando las 15 mayores temperaturas y Conductividades del inventario geotérmico nacional. Con base en la mayor temperatura superficial del fluido hidrotermal, encontrada en cada una de las zonas, se eligió una de las muestras más representativas de cada una de ellas.

Este documento presenta una recopilación bibliográfica, resultados de campo y de laboratorio, e interpretación de los mismos, A continuación, se analizarán cada una de las variables de medición encontradas, las cuales presentan resultados que serán interpretados para poder estimar la clasificación de los fluidos hidrotermales de interés.

4.2 UBICACIÓN DE LAS MANIFESTACIONES POR ZONA

En la siguiente Tabla No. 15, se muestra la zonificación de las manifestaciones hidrotermales, su ubicación por departamento, aldea y caserío, el producto de esta zonificación resultado de consideración de que exista una relación directa entre cada una de las manifestaciones cercanas entre sí.

Tabla 15. Categorización de manifestaciones por orden de zonificación.

ZONA	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ALDEA	CACERÍO
1	Choluteca	Choluteca	Pavana	Las Delicias
	Choluteca	Choluteca	Pavana	Agua Caliente
	Choluteca	Choluteca	Pavana	Las Delicias
	Choluteca	Choluteca	Pavana	Agua Caliente
2	Choluteca	Namasigue	San Jerónimo	El Carmen
	Choluteca	Namasigue	San Jerónimo	La Trinchera
3	Choluteca	Morolica	El Potrero	Agua Caliente
4	Choluteca	El Triunfo	El Triunfo	El Estribo
	Choluteca	El Triunfo	El Triunfo	El Estribo

Fuente: (Elaboración propia, 2016)

En la siguiente Tabla, se muestran las coordenadas UTM de cada una de las manifestaciones representativas por Zona. Cabe hacer mención que cada manifestación seleccionada por Zona, presenta las mejores condiciones para el muestreo de campo y a su vez es la más significativa del grupo de manifestaciones cercanas.

Tabla 16. Ubicación de las manifestaciones representativas por cada Zona.

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ALDEA	COORDENADAS		Zona de la Muestra
			ESTE	NORTE	
Choluteca	Pavana	Pavana	503643	1496423	1
Choluteca	Namasigue	San Jerónimo	486309	1440358	2
Choluteca	Morolica	Agua Caliente	503606	1496195	3
Choluteca	El Triunfo	El Triunfo	4999409	1441015	4

Fuente: (Elaboración propia, 2016)

Zona 1. Pavana.

Esta manifestación representativa se encuentra a 1.2 kilómetros a partir del desvío de la CA-3, hacia la comunidad de pavana, dicho tramo es de terracería en buenas condiciones y al lugar de la manifestación se llega a pie, más o menos a unos 150.0 m de la orilla del camino. Es un manantial hidrotermal, presentando a floración superficial visible y cuyo radio de alteración es de 15.0 m.

Zona 2. Namasigue.

Este manantial hidrotermal, de características particulares debido a su forma de pozo natural, se encuentra a 13.2 Km del desvío de la CA-3, entre Choluteca y Guasaule, tomado como punto de partida el desvío conocido como “La Hormiga”, de allí el camino es de terracería en regular estado, hasta llegar a la finca El Carmen.

Zona 3. Morolica.

Este manantial hidrotermal, se encuentra a 43.4 Km desde la CA-3, a partir del desvío al municipio de Morolica, de los cuales 22 Km es de pavimento asfáltico, mismo que lleva al municipio de Orocuina, los siguientes 21.4 Km son de terracería en regular estado. El punto de la manifestación queda a orillas del Río Choluteca, en una zona arenosa.

Zona 4. El Triunfo.

Esta manifestación representativa, se encuentra a 10Km en calle de terracería en buen estado, a partir del desvío de la CA-3 con dirección al caserío de Los Llanos. El nacimiento de esta manifestación del tipo manantial posee un caudal considerable el cual forma una pequeña laguna en su trayecto de desfogue.

4.3 TEMPERATURAS AMBIENTES Y SUPERFICIALES DEL AGUA TERMAL

En la siguiente Tabla, podemos observar la temperatura ambiente por zonas durante la recolección de la muestra, al igual que la temperatura superficial del fluido hidrotermal durante la recolecta de la muestra.

Tabla 17. Temperaturas ambientes y superficiales del agua durante el muestreo por zonas.

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ALDEA	NUMERO ZONA	Temp. Amb.°C	Temp. Sitio °C
Cholulteca	Pavana	Pavana	1	38.30	70.0
Cholulteca	Namasigue	San Jerónimo	2	39.00	76.5
Cholulteca	Morolica	Agua Caliente	3	39.50	82.0
Cholulteca	El Triunfo	El Triunfo	4	38.30	80.6

Fuente: (Elaboración propia, 2016)

Para determinar la temperatura ambiente y la temperatura superficial de las manifestaciones hidrotermales al momento del muestreo, se utilizaron dos termómetros digitales de precisión, especiales para altas temperaturas.

4.4 CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA CORREGIDA A 25°C micro

Siemens/centímetro $\mu\text{S}/\text{cm}$

La Conductividad, parámetro que se mide en $\mu\text{S}/\text{cm}$, se usa para obtener una estimación rápida y aproximada de la concentración salina o de Sólidos Disueltos en el agua. Es decir, a mayor Conductividad mayor concentración de sales posee el agua en estudio.

La siguiente Tabla, nos muestra los resultados de la medición de la conductividad durante el muestreo de campo aplicadas a todas las muestras y los resultados de la Conductividad corregida en laboratorio, la diferencia encontrada responde a las condiciones de manipulación, afectación del ambiente y precisión del equipo durante el muestreo, se tomara como valor de Conductividad aquellas mediciones encontradas por Conductivímetros de alta precisión en el laboratorio, los cuales son mostrados en la Tabla No. 18.

Los resultados de las Conductividades, obtenidos en el campo, muestran que las manifestaciones termales examinadas deben calificarse de poseer una Mineralización entre Importante a Excesiva.

Tabla 18. Conductividades de las Manifestaciones Termales por Zonas.

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ALDEA	NUMERO ZONA	MUESTRA	CORREGIDA EN LAB.
				Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$	Conductividad $\mu\text{S} / \text{cm}$
Cholulteca	Pavana	Pavana	1	929	1300
Cholulteca	Namasigue	San Jerónimo	2	1323	2070
Cholulteca	Morolica	Agua Caliente	3	1396	2470
Cholulteca	Pavana	Pavana	4	781	972

Fuente: (Elaboración propia; laboratorio ENEE, 2016)

4.5 pH DE LAS MUESTRAS

El pH, es una medida de la acidez o la alcalinidad de las aguas y es una variable muy importante ya que nos brinda una clasificación de cada manifestación hidrotermal con base en esas características químicas. Se sabe, que cuando el pH de las aguas es < 7 , ella manifiesta tendencias corrosivas y si su pH es > 8 , entonces ella manifiesta tendencias incrustantes.

La siguiente Tabla, nos muestra los valores medidos por el laboratorio, del pH para cada muestra representativa por zona.

Tabla 19. pH de las Manifestaciones Termales por Zonas.

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ALDEA	ZONA	pH
Cholulteca	Pavana	Pavana	1	7.84
Cholulteca	Namasigue	San Jerónimo	2	8.19
Cholulteca	Morolica	Agua Caliente	3	8.08
Cholulteca	El Triunfo	El Triunfo	4	8.74

Fuente: (Elaboración propia, laboratorio ENEE, 2016)

Los resultados del pH, ofrecidos en la Tabla anterior, son importantes para la interpretación detallada de los procesos hidrotermales así como en la predicción de procesos de incrustación o corrosión en el yacimiento en la etapa de explotación. Así tenemos que las aguas

analizadas, de acuerdo con los pH encontrados, se pueden caracterizar como aguas alcalinas con posible tendencia a ser incrustantes. Por otro lado, por los valores encontrados de este parámetro, la especie carbonática dominante es el Bicarbonato HCO_3^-

4.6 ANIONES Y CATIONES

Si se analiza los resultados ofrecidos en la Tabla No. 20, en relación al cálculo de Aniones, se podrá observar que las muestras representativas de las zonas 1, 3 y 4, presentan relativamente altos contenidos de Sulfatos. Esta especie química siempre está presente en aguas geotermales aunque típicamente su concentración es baja (< 50 ppm). En cambio, las aguas superficiales frecuentemente tienen concentraciones más altas de Sulfatos.

Tabla 20. Calculo de Aniones.

	NITRATOS	AMONIO	SULFURO/HIDROG.	SULFATOS	CLORUROS	SILICE	FLUOR
ZONA	N- NO_3 mg/L	N- NH_3 mg/L	H $_2$ S μg/L	SO $_4^{2-}$ mg/L	Cl $^-$ mg/L	SiO $_2$ mg/L	F- mg/L
1	0.02	0.01	ND	342	53.98	105.00	3.26
2	ND	ND	82.00	225	495.85	63.70	1.03
3	0.03	0.04	97.00	850	80.77	139.70	5.94
4	ND	ND	38.00	345	35.59	66.90	1.71

Fuente: (laboratorio ENEE, 2016)

ND: No Detectable

El segundo anión en importancia es el ión Cloruro (Cl^-). Así vemos que en la Zona 2 de Namasigue, se encuentra una manifestación que posee la más elevada concentración de esta especie química. De cualquier manera, es un hecho comprobado que las aguas termales de nuestro país poseen bajas concentraciones de Cloruros con respecto a la mayoría de las aguas termales de los países de Centroamérica.

Con base en los resultados de cationes presentados en la Tabla No.20, se muestran altos contenidos de Sodio, característica predominante en aguas geotérmicas de la región. Cabe hacer mención que los bajos contenidos de Magnesio representa una característica presente en todas las zonas de análisis.

Tabla 21. Calculo de Cationes.

ZONA	SODIO	POTASIO	CALCIO	MAGNESIO	LITIO
	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Li mg/L
1	217.83	8.31	25.4	0.14	0.22
2	344.81	8.18	64.69	0.12	0.29
3	422.34	16.81	41.94	0.59	0.89
4	162.05	4.55	26.47	N.D	0.13

Fuente: (laboratorio ENEE, 2016)
ND: No Detectable

4.7 ALCALINIDAD TOTAL

La alcalinidad, mide la capacidad de una solución para neutralizar los ácidos. Ella indica la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos y se toma como una indicación de la concentración de estos constituyentes. Las concentraciones de los bicarbonatos y carbonatos son necesarias para el balance iónico.

Por lo tanto, en la Tabla No. 22 que a continuación se presenta, nos muestra los valores medidos para los bicarbonatos, carbonatos y anhídrido carbónico. Los dos primeros indispensables para la obtención del balance iónico, ya que sus concentraciones están siempre presentes en las aguas geotérmicas.

Tabla 22. Alcalinidad.

ZONA	BICARBONATOS	CARBONATOS	ANHÍDRIDO CARBONICO
	HCO ₃	CO ₃	CO ₂
1	54.31	ND	46.94
2	14.00	1.53	11.22
3	208.16	ND	150.14
4	13.52	2.47	11.56

Fuente: (laboratorio ENEE, 2016)

ND: No Detectable

4.8 BALANCE IONICO

Las concentraciones en mg/L de los diferentes aniones y cationes se transforman en mili-equivalentes por Litro (meq/L) con el propósito de calcular el llamado Balance iónico. Este último, se emplea para definir la calidad de los análisis realizados a través del cálculo del Error Analítico. Si el Balance Iónico resulta igual a $\pm 7\%$ el análisis se califica como **Satisfactorio** y si se obtiene un Balance de $\pm 10\%$ es generalmente aceptado como **No Satisfactorio**.

La fórmula empleada para el cálculo de los Balances Iónicos es la siguiente:

$$\frac{\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}}{\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}} \times 100$$

Por otro lado, al observar la Tabla No. 23 del balance iónico para cada una de las zonas, inmediatamente se puede observar cuáles son los cationes y aniones predominantes lo que permite hacer la clasificación hidro-geoquímica de las aguas analizadas la que con mayor claridad se representa con los llamados Gráficos de Piper y Stiff que se ofrecen más adelante.

Tabla 23. Balance Iónico por zona.

ZONA	ANIONES						CATIONES						%Error
	HCO ₃ meq-g	CO ₃ meq-g	Cl ⁻ meq-g	SO ₄ meq-g	F meq-g	Suma aniones	Na ⁺ meq-g	K ⁺ meq-g	Ca ²⁺ meq-g	Mg ²⁺ meq-g	Li meq-g	Suma cationes	
1	0.89	ND	1.50	7.44	0.17	10.02	9.47	0.21	1.27	0.01	0.03	11.00	6.25
2	0.23	0.03	14.00	4.90	0.05	19.21	14.99	0.21	3.23	0.01	0.04	18.49	1.34
3	3.41	ND	2.30	18.49	0.31	24.52	18.36	0.43	2.10	0.05	0.13	21.07	5.91
4	0.22	0.05	1.00	7.43	0.09	8.87	7.05	0.12	1.32	ND	0.02	8.50	0.28

Fuente: (laboratorio ENEE, 2016)

ND: No Detectable

De acuerdo con los resultados del Balance iónico, que muestran que los Errores analíticos son aceptables, permiten clasificar las aguas en dos (2) grandes grupos importantes:

En las Zonas 1, 3 y 4 se manifiestan aguas **S04-Na (Sulfatadas Sódicas)**, las cuales, denotan presencia de un posible calentamiento por vapor. Y en zona del grupo 2, se manifiestan aguas **Cl-Na (Cloruradas Sódicas) que al mismo tiempo presentan bajos valores de Magnesio lo que indica ser aguas que se originan en sitios de alta temperatura.** Esto, podría ser de gran interés en el desarrollo futuro de la investigación geo científica, ya que tales aguas podrían ser calentadas por fuentes magmáticas.

4.9 REPRESENTACION GRÁFICA DEL BALANCE IONICO

Utilizando el programa computacional de modelación y gráficos AQUACHEM®, se obtienen los siguientes resultados:

El Diagrama Triangular de Piper que a continuación se presenta, relaciona las 4 Zonas de estudio, donde fácilmente podemos observar la composición iónica de cada una de las muestras. Con base al Gráfico No 7, podemos hacer la siguiente clasificación hidro-geoquímica de las manifestaciones termales de las zonas de estudio:

- **Zona 1.** Presenta una clasificación tipo Sulfatada- Sódica
- **Zona 2.** Presenta una clasificación tipo *Cloruro-Sódica*
- **Zona 3.** Presenta una clasificación tipo Sulfatada- Sódica
- **Zona 4.** Presenta una clasificación tipo Sulfatada- Sódica

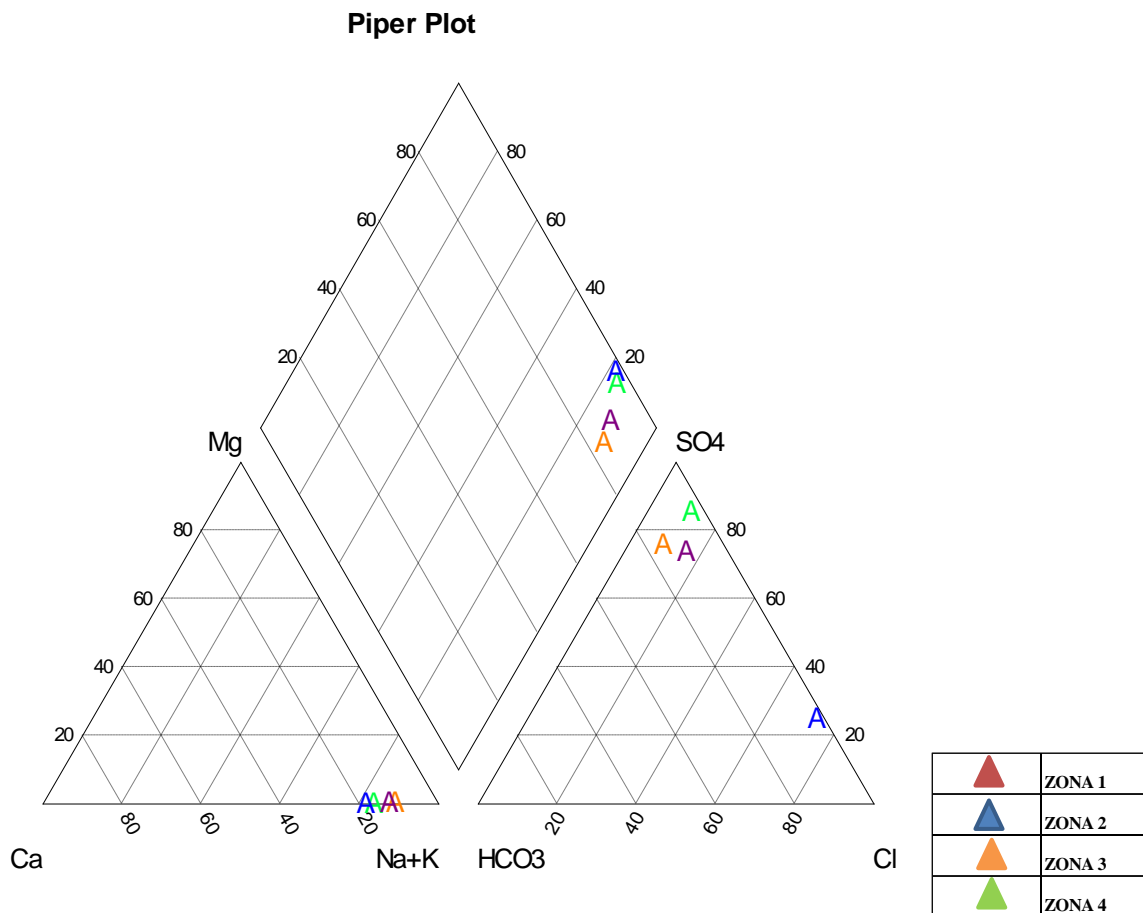


Grafico 9. Diagrama triangular de Piper. (Clasificación básica de las muestras por zonas)

A continuación, se presentan los resultados de los Gráficos de Stiff, el cual nos permite visualizar las concentraciones y evolución iónicas en cada muestra o zona de estudio.

Para el Grafico número No. 10, correspondiente a la zona 3, podemos observar el alza en la línea paralela de los aniones, la cual nos indica mayor concentración de SO_4^- (Sulfatos). Al igual que se observa el alza en la línea paralela de los cationes la mayor concentración del Na^+ (Sodio), confirmando que la muestra es del tipo Sulfatada- Sódica.

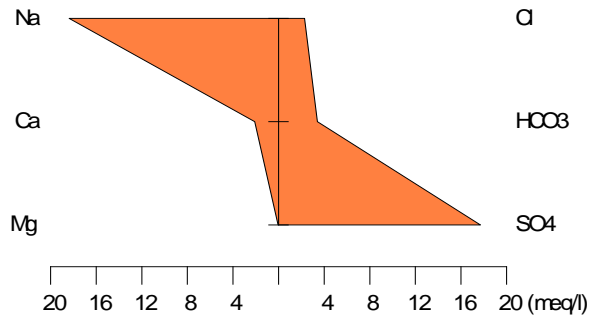


Grafico 10. Diagrama de Stiff para la zona 3.

Para el Grafico No.11, correspondiente a la zona 2, podemos observar el alza en la línea paralela de los aniones, la cual nos indica mayor concentración de Cl⁻ (Cloruros). Al igual que se observa el alza en la línea paralela de los cationes la mayor concentración del Na⁺ (Sodio), confirmando que la muestra es del tipo Clorurada- Sódica

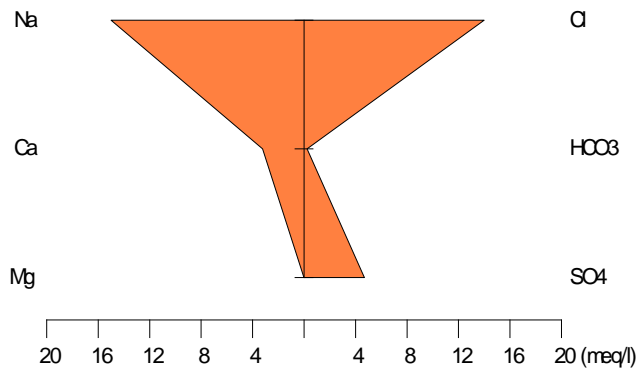


Grafico 11. Diagrama de Stiff para la zona 2.

Para el Grafico No. 12, correspondiente a la zona 4, podemos observar el alza en la línea paralela de los aniones, la cual nos indica mayor concentración de SO₄⁻ (Sulfatos). Al igual que

se observa el alza en la línea paralela de los cationes la mayor concentración del Na⁺ (Sodio), confirmando que la muestra es del tipo Sulfatada- Sódica.

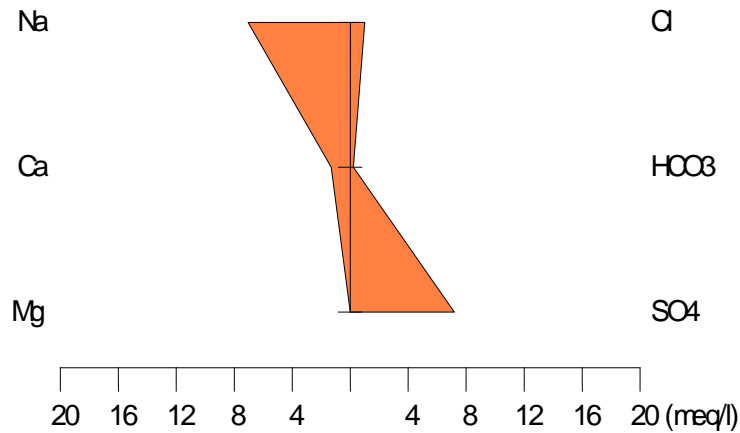


Grafico 12. Diagrama de Stiff para la zona 4.

Para el Grafico No. 13, correspondiente a la zona 1, podemos observar el alza en la línea paralela de los aniones, la cual nos indica mayor concentración de SO₄⁻ (Sulfatos). Al igual que se observa el alza en la línea paralela de los cationes la mayor concentración del Na⁺ (Sodio), confirmando que la muestra es del tipo Sulfatada- Sódica.

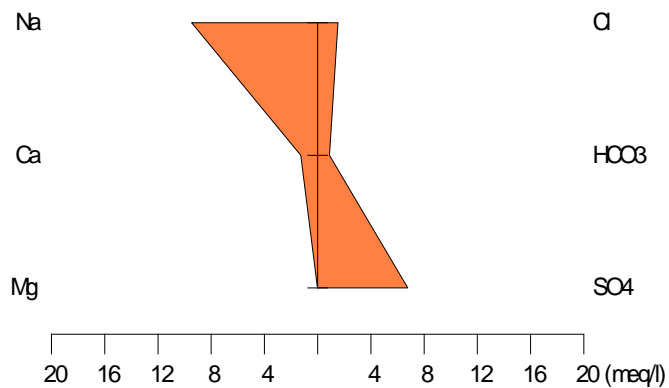






Grafico 13. Diagrama de Stiff para la zona 1.

En los siguientes Diagramas Cuadrados, podemos analizar la relación particular entre iones presentes, los que se llaman elementos de reacción, nos indican además características específicas de la muestra.

En el Grafico Cuadrado No. 14. Se interpreta la clasificación de las aguas antes mencionada, al igual que la relación entre ellas, se puede observar que las Zonas Sulfatadas – Sódicas (1,3 y 4), siguen el mismo patrón en relación a la distancia entre cada una de ellas. Mas no así para la muestra de la Zona 2, ya que presenta características (Cloruradas- Sódicas) diferentes, no reflejadas en este Gráfico.

	ZONA 1
	ZONA 2
	ZONA 3
	ZONA 4

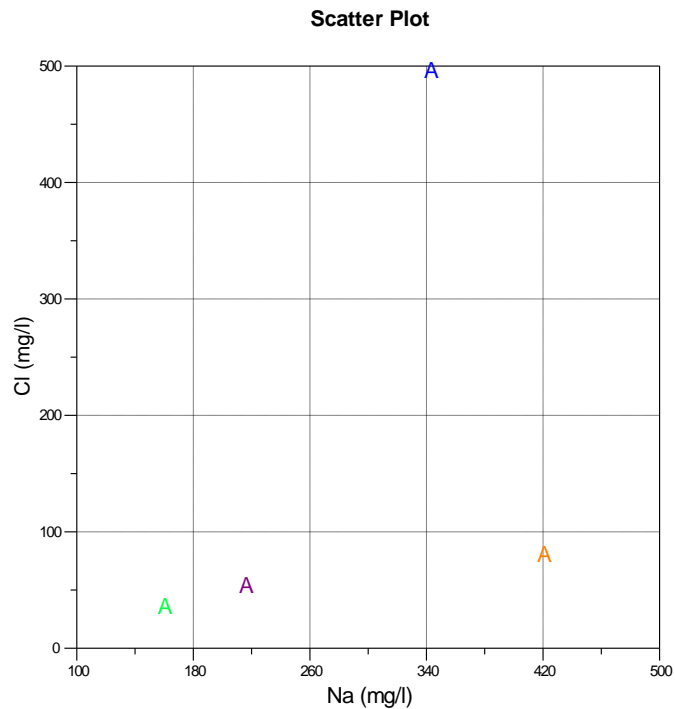






Grafico 14. Diagrama cuadrado Na- Cl.

En el Diagrama No. 15, se observa la representación del ion predominante (Na, presente en todas las muestras o zonas, en relación al isotopo igualmente predominante (Deuterio) en todas las muestras. La interpretación de este Grafico nos dice que existe una evolución marcada entre las muestras más cercanas a la costa (Zona 1, 2 y 4), y una relación entre su origen; alejándose significativamente de esa relación la zona más alejada de la costa (Zona 3), la que no presenta relación alguna con las demás muestras en relación al origen de sus fluidos.

	ZONA 1
	ZONA 2
	ZONA 3
	ZONA 4

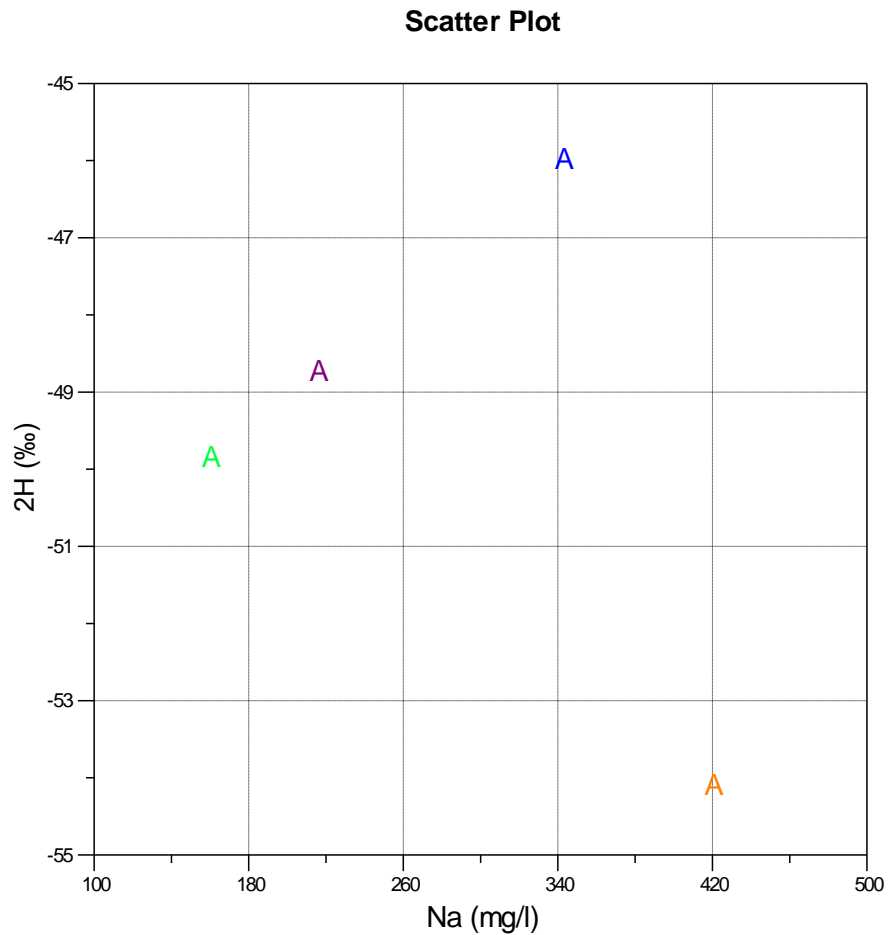


Grafico 15. Diagrama cuadrado Na- 2H

4.10 GEOTERMOMETRIA

Cuando los fluidos geotermales alcanzan la superficie, su composición química puede ser usada para calcular las temperaturas existentes a profundidad. Estas técnicas, que permite relacionar las concentraciones de los constituyentes con las temperaturas profundas, son llamadas Geotermómetros químicos y se emplean para estimar la temperatura del reservorio de un campo geotérmico.

Las bases para la Geo termometría se encuentran en los fenómenos de interacción fluido-roca y en el equilibrio del sistema hidrotermal el cual debe ser función de la temperatura existente en el reservorio y que debe preservarse durante el movimiento del fluido del reservorio a la superficie.

Existen varios tipos de Geotermómetros: de SiO₂, Na/K, Na-K-Ca, K-Mg y otros más.





Para este trabajo se utilizaron los geotermómetros de Giggenbach y metales alcalinos, a continuación se presentan las Gráficas obtenidas del análisis de resultados. En el Grafico No. 16, se concluye que las temperaturas obtenidas en 3 de las 4 Zonas son las siguientes:

Zona 1 =180 ° C

Zona 2 =130 ° C

Zona 3= 180 ° C

Zona 4= no se encontró magnesio detectable

	ZONA 1
	ZONA 2
	ZONA 3
	ZONA 4

Giggenbach Triangle

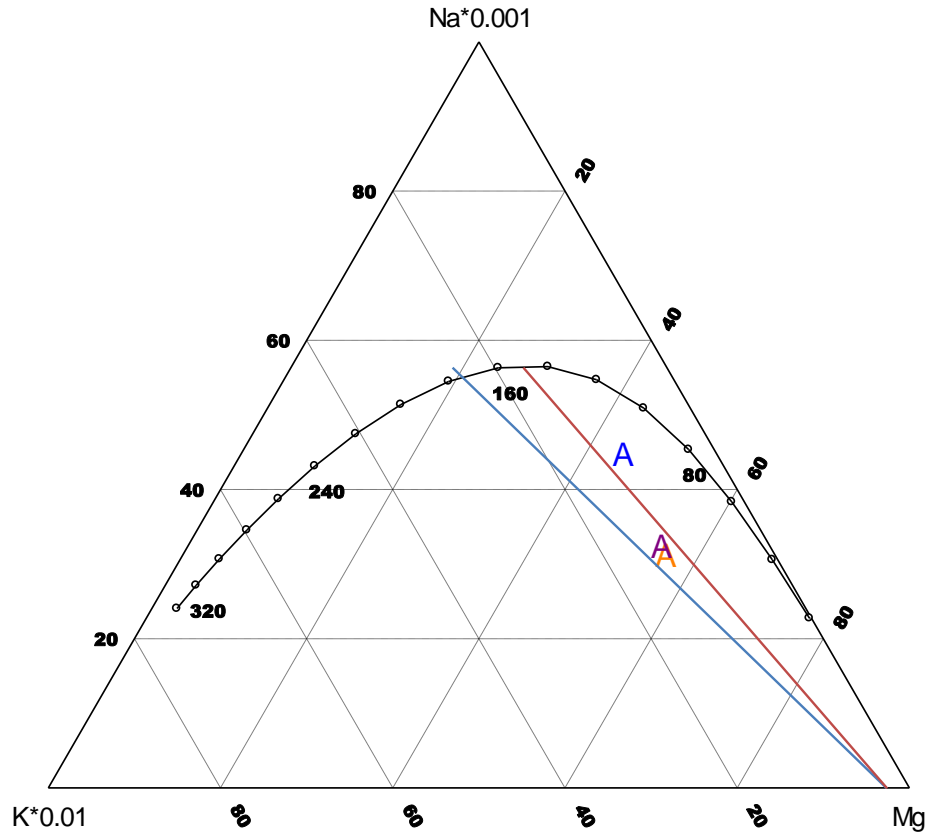


Grafico 16. Geotermómetro de Giggenbach, aplicado a 3 de las 4 zonas de interés.

El siguiente grafico muestra el geotermómetro de metales alcalinos (Na-K-F79 y Na-K-Ar83), reflejando los siguientes resultados:

Zona 1 = 155 ° C

Zona 2 = 125° C.

Zona 3 = 155 ° C

Zona 4 = 130 ° C

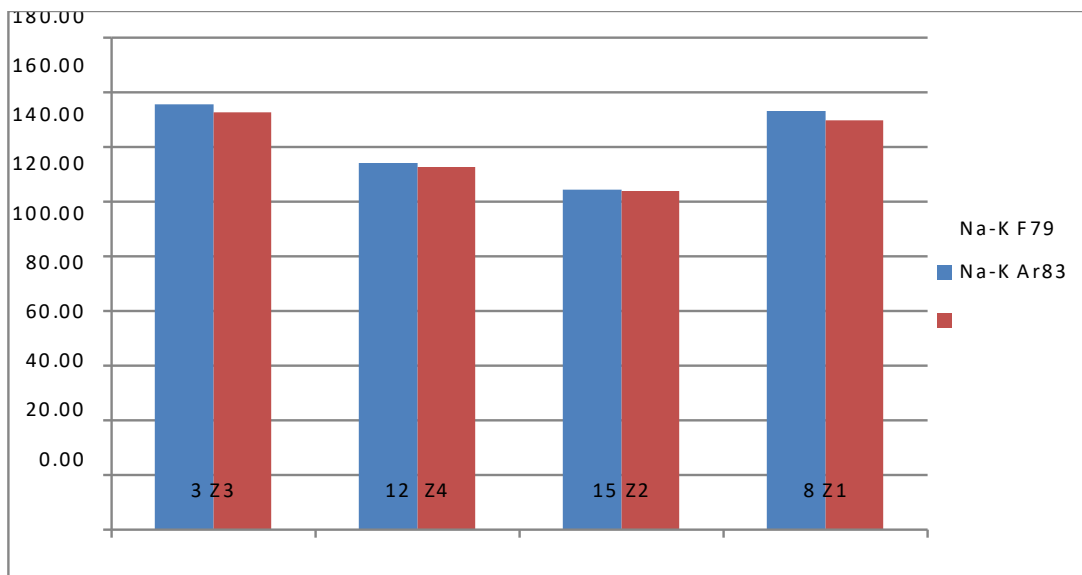


Grafico 17. Geotermómetro de metales alcalinos.

4.11 GEOQUIMICA ISOTOPICA

En la Tabla No 24, se presentan los resultados de la determinación analítica de los isotopos estables de Oxígeno 18 y Deuterio, presentes en las muestras de las aguas geotérmicas analizadas en cada una de las zonas de interés seleccionadas.





Tabla 24. Isotopía con Deuterio y Oxígeno 18.

ZONA	DEUTERIO	OXIGENO 18
	2H ‰	O ¹⁸ ‰
1	-48.73	-6.86
2	-44.98	-6.20
3	-54.10	-7.19
4	-49.84	-6.63

Fuente: (laboratorio ENEE, 2016)

El Diagrama isotópico obtenido, muestra el comportamiento de cada una de las muestras, comparadas con la línea isotópica base de las aguas meteóricas de la zona norte de El Salvador, específicamente en la central geotérmica de Berlín. Dicha comparación se realizó contando con la colaboración del Laboratorio Geoquímico de LaGeo (El Salvador).

Debido a la cercanía de las zonas de análisis de este trabajo, con las de la central geotérmica de Berlín, **podemos observar que las aguas calientes estudiadas tienen origen superficial o meteórico ya que sus resultados isotópicos se encuentran muy cerca de la línea meteórica local utilizada. Podemos agregar, que el calentamiento de estas aguas puede ser resultado de su infiltración a grandes profundidades o por calentamiento por gases provenientes de las profundidades o manto.** Este es un aporte importante ya que no se conocía un sistema similar en Honduras con esta característica de reservorios profundos, esto denota también un fracturamiento geológico significativo, con una posible relación a cámaras magmáticas o al proceso de conducción térmica con el manto terrestre.

	ZONA 1
	ZONA 2
	ZONA 3
	ZONA 4

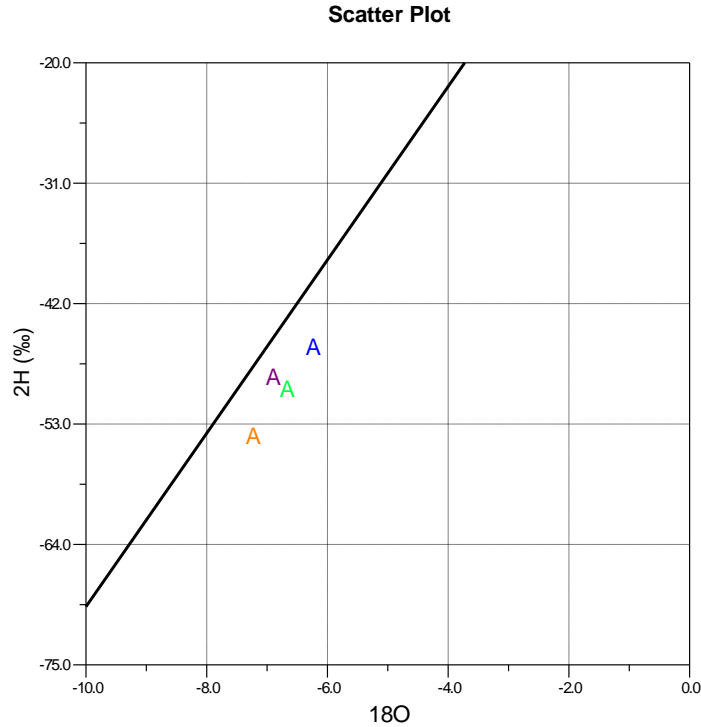


Grafico 18. Diagrama di variante, isotopos estables de Deuterio y Oxigeno 18, con línea base meteórica $d2\text{H} = 7.9195 d18\text{O} + 9.5133$; $R2 = 0.992$, (LaGeo, 2016)

4.12 COMPROBACION DE OBJETIVOS

Recapitulando los objetivos planteados, podemos decir lo siguiente:

- Se analizaron mediante muestreo representativo, las 9 manifestaciones hidrotermales con temperaturas superiores a los 60C° , divididas según su ubicación en 4 zonas e igual número de muestras.
- Se trabajó en la obtención de resultados, haciendo uso de las guías probadas para la exploración geoquímica y las metodologías estándar de laboratorio para muestras geotérmicas. Además se usaron modelos o programas computacionales para la demostración graficas de los resultados obtenidos.

- Se analizaron muestras de la zona sur de Honduras, específicamente del departamento de Choluteca, mediante el análisis iónico cuyos resultados, mediante el uso de diferentes gráficos, permitió la clasificación hidro-geoquímica de cada una de las muestras en dos grandes grupos: S04-Na y Cl –Na.
- Mediante el análisis isotópico, se determinó la fuente u origen de las aguas calientes de las zonas estudiadas.
- Se analizaron los Geotermómetros más comunes (Na-K-Mg de Giggenbach; Na-K de Fourier y Na-K de Argonsoon.) en la geoquímica, presentando condiciones de baja y mediana temperatura en el reservorio entre 125 -180 °C.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. Con base al Gráfico No. 9, se determinó la clasificación de las aguas hidrotermales mediante los procedimientos de la geoquímica, logrando conocer la composición de cada una de las 4 muestras de interés, donde la Zona 2 presenta condiciones particularmente interesantes para futuras investigaciones geotérmicas.
2. Se analizaron e interpretaron los resultados mediante el Balance Iónico, Isotopía y Geotermometría, que contribuirán a la mejor comprensión del Modelo Conceptual Geotérmico del país.
3. Se elaboró una plataforma de resultados geo científicos en la zona sur, misma que aporta al reconocimiento geotérmico para aplicaciones diversas, la cual podrá brindar una oportunidad de inversión en aplicaciones de uso térmico o investigaciones futuras.

4. Se determinó el posible potencial térmico de los reservorios en la zona sur del país, el cual podrá servir como punto de partida para estimar el potencial eléctrico usando la geotermia como fuente de generación para la zona.
5. Se comprobó la relación hipotética del trabajo de tesis, ya que los resultados relacionan las zonas de interés con aguas de origen marino, que debido a la cercanía del cinturón de fuego, se espera que responda al proceso de subducción de placas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se considera necesario establecer un marco legal, que defina el interés del país en el desarrollo específico de la geotermia, para fines de generación de energía eléctrica o para usos en aplicaciones térmicas directas. Debido a su alto costo, en concepto de investigación y reconocimiento, promover incentivos que estimulen el aprovechamiento de esta fuente.
- Continuar con los trabajos de investigación, en materia de geología y geofísica, con el fin de aportar y de definir el modelo geotérmico conceptual de la zona sur del país.
- Establecer líneas de cooperación técnica, específicamente en el conocimiento de la geotermia como ciencia, esto fortalecerá la capacidad técnica del país y permitirá ampliar la aplicabilidad a otras formas no convencionales de negocios y desarrollo.
- Actualizar el inventario geotérmico nacional, para hacer una mejor evaluación del recurso y ubicar aquellas zonas donde su aprovechamiento sea fuente de una nueva opción de desarrollo.

5.3 APORTES DEL TRABAJO

A continuación, se presentan los mayores aportes de este trabajo, en relación a los datos encontrados y en la interpretación de los mismos.

- 1 **Clasificación de las aguas hidrotermales en la zona sur de Honduras:** se encontró que 3 de las manifestaciones ubicadas en las zonas 1, 3 y 4 (ver tabla No.13), son del tipo Sulfatadas- Sódicas, las cuales presentan una composición hidro-química diferente a las manifestaciones del litoral atlántico y zona central de Honduras, (Departamento de Energías Renovables; laboratorio Química de ENEE, 2014) las cuales son mayormente Bicarbonatadas- Sódicas. Además se encontró que la manifestación ubicada en la zona 2 (ver tabla No. 13), es del tipo Clorurada- Sódica, **siendo posiblemente esta la primer manifestación de su tipo en Honduras**, lo que nos amplía la conceptualización de los sistemas geotermales en el país y presenta un interés científico que pudiera servir para investigaciones futuras en dicha zona, existiendo una relación térmica con el manto terrestre o cámaras magmáticas profundas.
- 2 **Geo termometría:** con base en los resultados de los geotermómetros utilizados podemos decir que los sistemas geotérmicos estudiados, presentan condiciones de mediana entalpía en sus reservorios, con temperaturas de 125 a 180 °C.
- 3 **Isotopía:** con base a los resultados presentados en el Gráfico No. 18, y comparados con la isotopía de la línea meteórica base de la Central Geotérmica de Berlín, El Salvador, podemos decir que la recarga de los sistemas geotérmicos profundos, estudiados para este trabajo en su mayoría son de origen meteórico.
- 4 **Recopilación bibliográfica:** de los estudios geo-científicos realizados en Honduras, especialmente documentos antiguos y de poca accesibilidad, se logró identificar que el Inventario de ENEE/PNUD de 1977 es el que mayor información exploratoria tiene. Además, se observan diferencias significativas respecto a la evaluación del potencial

térmico entre cada uno de los documentos, como queda demostrado en las tablas No. 5 y No. 6 de este trabajo.

- 5 Se presenta de forma resumida y ordenada estadísticamente, el Inventario Geotérmico Nacional (ENEE/PNUD, 1977) para su mejor evaluación, conocimiento y uso permitiendo hacer referencia de tan importante información (ver anexos 1 al 4).
- 6 Se identificaron por medio de muestreo de campo, las manifestaciones más representativas de cada zona de interés, actualizando y conociendo de esta manera las condiciones actuales de dichas manifestaciones hidrotermales.

CAPITULO 6. APLICABILIDAD

Con base a los resultados de geo termometría, la cual nos indica las temperaturas del reservorio en las zonas de estudio, podemos brindar algunas alternativas de aplicabilidad para este trabajo, dichas alternativas fueron planteadas en el capítulo 2.5, “Aprovechamiento del Recurso de Estudio”. En este capítulo, se hizo mención de las siguientes propuestas:

- **Aprovechamiento térmico del fluido:** generación de electricidad por flaseo y ciclo binario, intercambiadores de calor y bombas de calor.
- **Usos directos:** balneología, agricultura, acuicultura, usos industriales y calefacción o enfriamiento de residencias.
- **Ciclos binarios para la generación de energía eléctrica**
- **Aporte al Modelo Conceptual Geotérmico.**

A continuación se enumeran de manera más específica, en relación a la temperatura superficial y del reservorio de cada zona de estudio, el aprovechamiento del recurso hidrotermal para usos directos basados en su potencial térmico, mismo que brinda una oportunidad de desarrollo fácilmente aplicable a la zona sur de Honduras y que podrían servir como fuentes de inversión no convencionales. Según la escala de temperatura:

30°C- 90°C (Aplicables a las 4 zonas de estudio)

- Calefacción por suelos radiantes
- Centros de ocio- piscinas
- Balneoterapia
- Pre- calentamiento (agua-aire)
- Agua caliente sanitaria
- Piscicultura- Acuicultura
- Cultivo de setas
- Calefacción de invernaderos por el suelo
- Calefacción de invernaderos por el aire
- Secado de productos de productos agrícolas, maderas y pescado

90°C- 150°C (Aplicables a las 4 zonas de estudio)

- Lavado de lanas-tintes
- Secado de productos industriales
- Refrigeración por absorción
- Extracción de sustancias químicas
- Destilación de agua dulce
- Recuperación de metales
- Evaporación de soluciones concentradas
- Fabricación de pasta de papel
- Refrigeración por absorción de amoniaco

T >150°C (Aplicable a la zona 2 del estudio)

- Generación de energía eléctrica a través de ciclo binario

Sin embargo se recomienda realizar estudios de geología y geofísica que sirvan para cuantificar dicho recurso y garantizar la sostenibilidad del mismo, en la aplicación y aprovechamiento directo.

BIBLIOGRAFÍA

- Agueda, J.; Anguita, F.; Araña, V.; López, J. & Sánchez de la Torre, L.; 1983: Geología (2a.
- Araña, V. & Ortiz, R.; 1984: Volcanología. Editorial Rueda. Madrid.
- Arnórsson (2000): Isotopic and Chemical Technics in Exploration, Development and Use.
- Chemical Analysis and Sampling Techniques for Geothermal Fluids and Gases at The Fenton Hill Laboratory. Los Alamos National Laboratory, 1987
- Chemistry And Geothermal Systems. A.J. Ellis, W.A.J Mahon. Academic Press, Inc 1977.
- Collection And Analysis of Geothermal And Volcanic Water And Gas Discharges. W.F Giggenbach, R. L Goquel, New Zealand 1989.
- DiPippo; R.; 2008: Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact._Second Edition._ Elsevier.
- Diplomado en Geotermia UES (2012).
- Diplomado en Geotermia UES (2013).
- El Calor de la Tierra. Rosa María Prol-Ledesma. La Ciencia desde México, 1988.
- Ellis & Mahon (1977) Chemistry and Geothermal Systems, Academic Press, New York.
- ESMAP, 2012: Geothermal Handbook: Planning and Financing Power Generation. Technical.
- Fluid-Mineral Equilibria in Hydrothermal Systems. R.W.Henley, A.H. Truesdell, P.B. Barton, Jr. Society Of Economic Geologists, 1984.
- Geochemical Techniques for the Exploration and Exploitation of Geothermal Energy. Luigi Marini Universita degli Studi di Genova, Italy, 2000.
- Introduction To Geothermal Prospecting. Edited by M.P. Hochstein. Published by The Geothermal Institute, University of Auckland, 1987.
- Isotopic And Chemical Techniques in Geothermal Exploration Development And Use. Edited by Stefán Arnórson. IAEA, Vienna, 2000.

- Los Alamos National laboratory (1987): Chemical Analysis and Sampling Technics for Geothermal Fluids and Gases.
- Papers de UNU GTP <http://unugtp.is/page/publications> Edición).- 528 pp; Madrid (Editorial Rueda).
- Sampling Techniques for Geothermal Fluids. L.E Klyen, Institute of Geological and Nuclear Sciences, New Zealand 1996.
- Sears, F.; Zemansky, M.& Young, H.; 1988: Física Universitaria. Sexta Edición en Español. Addison-Wesley Iberoamericana. E.U.A.
- Simposio Internacional Sobre Desarrollo y Explotación de Recursos Geotérmicos. Memorias, Cuernavaca México 1987.
- Tarbuck, E. & Lutgens, F.; 2000: Ciencias de la Tierra: Una Introducción a la Geología Física. 6a Edición;Madrid (Prentice Hall).
- Tom Powell and William Cumming (2010): Spreadsheets for geothermal water and gas geochemistry.
- Wicander, R & Monroe, J; 2000: Fundamentos de Geología._ Traducción de 2ª Edición (InternationalThomson Editores).
- William Cumming (2009): Geothermal resource conceptual models using surface exploration data.
- www.energiaysostenibilidad.wordpress.com/.../introduccion-a-la-geotermia-ii/

ANEXOS

Anexo 1. Inventario Nacional de Fuentes Hidrotermales en Honduras (ENEE/PNUD, 1977). Según su Ubicación.

	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ALDEA	CACERIO
1	Choluteca	Namasigue	San Jerónimo	El Carmen
2	Atlántida	La Ceiba	Sambo Creek	Hacienda de Don Avencio
3	Choluteca	Morolica	El Potrero	Agua Caliente
4	Francisco Morazán	San Ignacio	San Miguel de Barrosa	La Tembladera
5	Copan	La Unión	San Andrés	Platanares
6	Comayagua	La Trinidad	La Trinidad	La Trinidad
7	Atlántida	Jutiapa	Jutiapa	Agua Caliente
8	Choluteca	Choluteca	Pavana	Las Delicias
9	Atlántida	La Masica	Los Hervederos	Los Hervederos
10	Intibucá	Jesús de Otoro	San Rafael	Potrerillos
11	El Paraíso	Oropoli	Oropoli	La Jagua
12	Choluteca	El Triunfo	El Triunfo	El Estribo
13	Choluteca	El Triunfo	El Triunfo	El Estribo
14	Choluteca	Choluteca	Pavana	Agua Caliente
15	Choluteca	Namasigue	San Jerónimo	La Trinchera
16	Lempira	La Virtud	Los Hernández	La Haciendita
17	El Paraíso	Danli	Cifuentes	Los Trojes
18	Lempira	Mapulaca	Mapulaca	Agua Caliente
19	Choluteca	Choluteca	Pavana	Las Delicias
20	Atlántida	La Masica	El Oro-Agua Caliente	El Oro-Agua Caliente
21	Colon	Trujillo	Corocito	Rio Corocito
22	Colon	Sonaguera	Quebrada de Arena	Parma
23	Choluteca	Choluteca	Pavana	Agua Caliente
24	Lempira	Mapulaca	Mapulaca	Agua Caliente
25	Intibucá	Jesús de Otoro	San Rafael	La Resaca
26	Atlántida	Esparta	Las Flores	Tarralosa
27	Valle	Nacaome	Nacaome	Aguas Termales
28	El Paraíso	Danli	El Olingo	Agua Caliente
29	Colon	Trujillo	Las Flores	Hacienda las Palmas
30	Yoro	Olanchito	San Lorenzo Arriba	San Juan
31	Cortes	Santa Cruz de Yojoa	La Barca	Aguacate

	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ALDEA	CACERIO
32	Francisco Morazán	El Porvenir	Agua Caliente	Agua Caliente
33	Olancho	Campamento	la Lima	Los Limones
34	Yoro	Negríto	Campo Perdiz	Campo Perdiz
35	Colón	Balfate	Lis Lis	Lis Lis
36	Atlántida	La Masica	Agua Caliente	Agua Caliente
37	Choluteca	Namasigue	San Jerónimo	La Trinchera
38	Comayagua	Humuya	Humuya	Humuya
39	Lempira	Mapulaca	El Sitio	Llano de la Hamaca
40	Yoro	Olanchito	San Lorenzo Arriba	Puerto Rico
41	Cortés	Santa Cruz de Yojoa	Santa Cruz de Yojoa	Cajón
42	Lempira	Gracias	Gracias	Villami
43	Cortés	Villa Nueva	Nuevo Chamelecón	Nuevo Chamelecón
44	Francisco Morazán	Nueva Armenia	Nueva Armenia	Agua Caliente
45	Lempira	Las Flores	Piedra Pintada	Piedra Pintada
46	Lempira	San Rafael	San José	Agua Caliente
47	Colón	Balfate	La Gloria	La Gloria
48	Comayagua	Las Liconas	Las Liconas	Tenguaje
49	Comayagua	Villa de San Antonio	Villa de San Antonio	La Plazuela
50	Francisco Morazán	Distrito Central	Tamara	Balneario San Francisco
51	Valle	San Lorenzo	El Laure Abajo	Laure Arriba

Fuente: (ENEE; Recopilación Propia, 2016)

Anexo 2. Inventario Nacional de Fuentes Hidrotermales en Honduras (ENEE/PNUD, 1977). Según su Temperatura

	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	TEMP. SUPERFICIAL	TEMP. PROMEDIO
1	Choluteca	Namasigue	100 °C	100 °C
2	Atlántida	La Ceiba	99 °C	99 °C
3	Choluteca	Morolica	98 °C	98 °C
4	Francisco Morazán	San Ignacio	98 °C	98 °C
5	Copan	La Unión	82-101 °C	91.5 °C
6	Comayagua	La Trinidad	84 °C	84 °C
7	Atlántida	Jutiapa	81-86 °C	83.5 °C
8	Choluteca	Choluteca	80-85 °C	82.5 °C
9	Atlántida	La Masica	69-94 °C	81.5 °C
10	Intibucá	Jesús de Otoro	71-90 °C	80.5 °C
11	El Paraíso	Oropoli	80 °C	80 °C
12	Choluteca	El Triunfo	74-84 °C	79 °C
13	Choluteca	El Triunfo	75-81 °C	78 °C
14	Choluteca	Choluteca	63-90 °C	76.5 °C
15	Choluteca	Namasigue	76 °C	76 °C
16	Lempira	La Virtud	54-98 °C	76 °C
17	El Paraíso	Danli	71-80 °C	75.5 °C
18	Lempira	Mapulaca	72-74 °C	73 °C
19	Choluteca	Choluteca	70-75 °C	72.5 °C
20	Atlántida	La Masica	64-80 °C	72 °C
21	Colon	Trujillo	46-96 °C	71 °C
22	Colon	Sonaguera	70 °C	70 °C
23	Choluteca	Choluteca	70 °C	70 °C
24	Lempira	Mapulaca	66-73 °C	69.5 °C
25	Intibucá	Jesús de Otoro	69 °C	69 °C
26	Atlántida	Esparta	68°C	68°C
27	Valle	Nacaome	41-93 °C	67 °C
28	El Paraíso	Danli	52-81 °C	66.5 °C
29	Colon	Trujillo	64 °C	64 °C
30	Yoro	Olanchito	61-67 °C	64 °C
31	Cortes	Santa Cruz de Yojoa	50-75 °C	62.5 °C
32	Francisco Morazán	El Porvenir	54-70 °C	62 °C
33	Olancho	Campamento	52-72 °C	62 °C
34	Yoro	Negrito	61 °C	61 °C
35	Colon	Balfate	59 °C	59 °C

	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	TEMP. SUPERFICIAL	TEMP. PROMEDIO
36	Atlántida	La Masica	33-80 °C	56.5 °C
37	Choluteca	Namasigue	56 °C	56 °C
38	Comayagua	Humuya	51-60 °C	55.5 °C
39	Lempira	Mapulaca	51-56 °C	53.5 °C
40	Yoro	Olanchito	52 °C	52 °C
41	Cortes	Santa Cruz de Yojoa	51 °C	51 °C
42	Lempira	Gracias	46-56 °C	51 °C
43	Cortes	Villa Nueva	50 °C	50 °C
44	Francisco Morazán	Nueva Armenia	40-57 °C	48.5 °C
45	Lempira	Las Flores	45-51 °C	48 °C
46	Lempira	San Rafael	44-50 °C	47 °C
47	Colon	Balfate	36-55 °C	45.5 °C
48	Comayagua	Las Liconas	33-50 °C	41.5 °C
49	Comayagua	Villa de San Antonio	39 °C	39 °C
50	Francisco Morazán	Distrito Central	36 °C	36 °C
51	Valle	San Lorenzo	33 °C	33 °C

Fuente: (ENEE; Recopilación Propia, 2016)

Anexo 3. Inventario Nacional de Fuentes Hidrotermales en Honduras (ENEE/PNUD, 1977). Según sus Coordenadas.

	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	COORDENADAS	
			LONGITUD	LATITUD
1	Choluteca	Namasigue	87°07'28``	13°02'30``
2	Atlántida	La Ceiba	86°37'36``	15°46'48``
3	Choluteca	Morolica	86°58'00``	13°32'02``
4	Francisco Morazán	San Ignacio	N/S	N/S
5	Copan	La Unión	88°55'33``	14°45'42``
6	Comayagua	La Trinidad	87°37'11``	14°41'55``
7	Atlántida	Jutiapa	86°32'12``	15°45'12``
8	Choluteca	Choluteca	87°20'45``	13°23'59``
9	Atlántida	La Masica	87°04'48``	15°37'42``
10	Intibucá	Jesús de Otoro	N/S	N/S
11	El Paraíso	Oropoli	86°46'12``	13°51'22``
12	Choluteca	El Triunfo	87°00'23``	13°01'45``
13	Choluteca	El Triunfo	87°00'36``	13°01'49``
14	Choluteca	Choluteca	87°19'04``	13°24'08``
15	Choluteca	Namasigue	87°06'55``	13°01'19``
16	Lempira	La Virtud	88°39'26``	14°01'08``
17	El Paraíso	Danli	N/S	N/S
18	Lempira	Mapulaca	88°36'19``	14°02'38``
19	Choluteca	Choluteca	87°20'37``	13°23'49``
20	Atlántida	La Masica	87°10'27``	15°36'15``
21	Colon	Trujillo	85°47'12``	15°43'09``
22	Colon	Sonaguera	86°08'30``	15°39'00``
23	Choluteca	Choluteca	87°18'45``	13°24'33``
24	Lempira	Mapulaca	88°36'01``	14°02'34``
25	Intibucá	Jesús de Otoro	N/S	N/S
26	Atlántida	Esparta	87°14'42``	15°44'03``
27	Valle	Nacaome	87°27'52``	13°31'45``
28	El Paraíso	Danli	86°54'11``	14°33'17``
29	Colon	Trujillo	85°53'15``	15°55'45``
30	Yoro	Olanchito	86°54'24``	15°25'27``
31	Cortes	Santa Cruz de Yojoa	N/S	N/S
32	Francisco Morazán	El Porvenir	N/S	N/S
33	Olancho	Campamento	86°32'18``	14°33'36``
34	Yoro	Negrito	88°44'06``	15°38'10``
35	Colon	Balfate	86°23'54``	15°45'18``

	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	LONGITUD	LATITUD
36	Atlántida	La Masica	87°10'27``	15°36'12``
37	Choluteca	Namasigue	87°06'46``	13°01'26``
38	Comayagua	Humuya	87°40'25``	14°14'34``
39	Lempira	Mapulaca	88°37'56``	14°02'15``
40	Yoro	Olanchito	87°03'16``	15°24'52``
41	Cortes	Santa Cruz de Yojoa	87°44'15``	15°02'13``
42	Lempira	Gracias	88°35'48``	14°29'12``
43	Cortes	Villa Nueva	88°21'09``	15°25'28``
44	Francisco Morazán	Nueva Armenia	87°07'58``	13°47'38``
45	Lempira	Las Flores	88°37'17``	14°42'43``
46	Lempira	San Rafael	88°21'18``	14°42'48``
47	Colon	Balfate	86°21'42``	14°45'00``
48	Comayagua	Las Liconas	87°38'20``	14°26'04``
49	Comayagua	Villa de San Antonio	87°36'01``	14°18'14``
50	Francisco Morazán	Distrito Central	N/S	N/S
51	Valle	San Lorenzo	87°22'34``	13°27'58``

Fuente: (ENEE; Recopilación Propia, 2016)

Anexo 4. Inventario Nacional de Fuentes Hidrotermales en Honduras (ENEE/PNUD, 1977). Según Elevación y Conductividad.

	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ELEVACION (m)	CONDUCTIVIDAD (μS/cm)
1	Choluteca	Namasigue	N/S	2650
2	Atlántida	La Ceiba	110	700
3	Choluteca	Morolica	160	1840
4	Francisco Morazán	San Ignacio	N/S	1220
5	Copan	La Unión	700	1050
6	Comayagua	La Trinidad	330	825
7	Atlántida	Jutiapa	40	670
8	Choluteca	Choluteca	20	1700
9	Atlántida	La Masica	30	830
10	Intibucá	Jesús de Otoro	N/S	1800
11	El Paraíso	Oropoli	N/S	1425
12	Choluteca	El Triunfo	25	1280
13	Choluteca	El Triunfo	25	1280
14	Choluteca	Choluteca	15	1500
15	Choluteca	Namasigue	4	2500
16	Lempira	La Virtud	100	1600
17	El Paraíso	Danli	N/S	N/S
18	Lempira	Mapulaca	200	1150
19	Choluteca	Choluteca	20	1720
20	Atlántida	La Masica	30	430
21	Colon	Trujillo	100	1680
22	Colon	Sonaguera	70	500
23	Choluteca	Choluteca	30	1300
24	Lempira	Mapulaca	200	1200
25	Intibucá	Jesús de Otoro	N/S	800
26	Atlántida	Esparta	20	435
27	Valle	Nacaome	30	1400
28	El Paraíso	Danli	N/S	1225
29	Colon	Trujillo	50	245
30	Yoro	Olanchito	335	1200
31	Cortes	Santa Cruz de Yojoa	N/S	1720
32	Francisco Morazán	El Porvenir	N/S	2050
33	Olancho	Campamento	570	1030
34	Yoro	Negrito	18	335
35	Colon	Balfate	20	400

	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ELEVACION (m)	CONDUCTIVIDAD (μS/cm)
36	Atlántida	La Masica	40	385
37	Choluteca	Namasigue	5	2240
38	Comayagua	Humuya	635	700
39	Lempira	Mapulaca	200	1000
40	Yoro	Olanchito	450	1100
41	Cortes	Santa Cruz de Yojoa	110	490
42	Lempira	Gracias	555	600
43	Cortes	Villa Nueva	40	700
44	Francisco Morazán	Nueva Armenia	500	1120
45	Lempira	Las Flores	550	900
46	Lempira	San Rafael	690	1975
47	Colon	Balfate	40	355
48	Comayagua	Las Liconas	575	975
49	Comayagua	Villa de San Antonio	600	1250
50	Francisco Morazán	Distrito Central	N/S	250
51	Valle	San Lorenzo	70	252

Fuente: (ENEE; Recopilación Propia, 2016)

A continuación se presenta una secuencia fotográfica de algunas etapas de la elaboración de este trabajo. En la fotografías siguientes de observa la determinación de las variables independientes de campo.

Anexo 5. Muestreo en campo, recopilación de variables independientes. (Febrero 2016).

Temperatura Ambiente



Temperatura Superficial de la Manifestación



Tipo de Manifestaciones

Todas las manifestaciones estudiadas son del tipo manantial.



Zona 1



Zona 2



Zona 3



Zona 4

En las siguientes fotografías se observa la determinación de las variables independientes y dependientes obtenidas en Laboratorio.

Anexo 6. Determinación de las variables en laboratorio (Febrero, 2016).

pH y Conductividad



Aniones (Colorimetría UV Visible)



Análisis de Cationes (Espectrofotómetro de absorción atómica)



Equipo Laser para Isotopos



Anexo 7. Algunos materiales utilizados en el proceso de obtención de resultados (Febrero, 2016).

Reactivos para la fijación de las muestras de campo.



Ácido Nítrico



Acetato de Zinc



Acido Tetraoxosulfurico

Reactivos para la determinación de Aniones en laboratorio.



Sulfaver 4 /HACH



Salicilato y Cianurato de Amonio

A continuación se mostrara una recopilación fotográfica del tratamiento de las muestras, antes del análisis correspondiente en laboratorio.

Anexo 8. Tratamiento de la muestra antes de ser analizada (Febrero, 2016).



Recolección de la Muestra



Fijación de la Muestra



Filtrado de la muestra