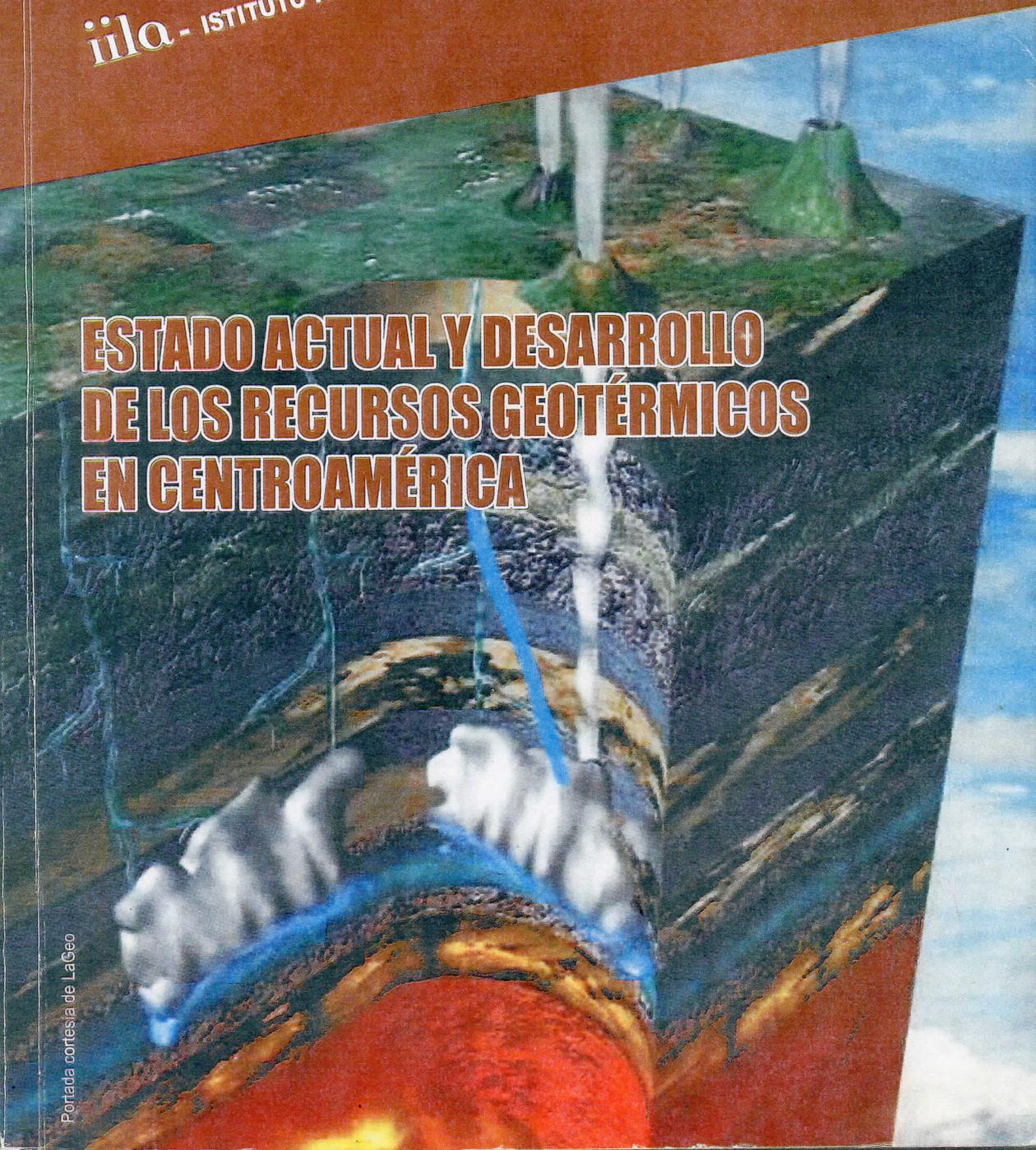


ila - ISTITUTO ITALO-LATINO AMERICANO

ESTADO ACTUAL Y DESARROLLO DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS EN CENTROAMÉRICA



V. ESTADO ACTUAL DEL DESARROLLO DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS EN HONDURAS

CÉSAR LAGOS,
clagos@geoplatamares.com.
Geoplatamares

INTRODUCCIÓN

La exploración geotérmica en Honduras tuvo lugar a finales de los setentas, cuando Geonomics Inc, comenzó investigaciones fotogeológicas y delimitó campos de investigación en el área de Pavana, Choluteca. En el reporte de Geonomics presentado en 1977, se atribuyó la fuente de calor en Pavana a la existencia de tres calderas. El proyecto fue abortado debido a problemas financieros. Posteriormente GeothermEX recibió fondos del Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas para examinar un número de áreas de manifestaciones geotérmicas en Honduras.

En 1980, basado en los resultados preliminares de geotermometría, GeothermEX identificó seis sitios cuya temperatura de reservorio parecía lo suficientemente alta como para tener potencial de desarrollo en generación eléctrica. Estos seis sitios, Pavana, Sambo Creek, Azacualpa, Platanares, El Olivar y San Ignacio (Figura 1) fueron posteriormente revisados por El Laboratorio Nacional de Los Álamos (US) junto con la Empresa Nacional de Energía Eléctrica de Honduras (ENEE).



Figura 1. Campos geotérmicos de Honduras. Fuente: Geology.com

Simultáneamente El Programa de Desarrollo de Las Naciones Unidas, proporcionó fondos a dos compañías italianas: Geotérmica Italiana y DAL, para que realizaran investigaciones en cuanto al potencial geotérmico de un área más extensa en el centro del país, que incluía El Olivar, San Ignacio y Azacualpa. Se realizaron tres pozos exploratorios en Platanares, dos en

Azacualpa y uno en San Ignacio, de donde se obtuvieron más datos que ayudaron a construir los primeros modelos hidrogeoquímicos de cada reservorio.

MARCO GEOLÓGICO DE HONDURAS

El Istmo Centroamericano se encuentra ubicado geológicamente entre las placas Cocos y Caribe, influenciado por el fenómeno de subducción, el cual produce fallas extensionales y ha sido el responsable de la creación de cadenas volcánicas que se extienden en toda la región y proporcionan una fuente potencial de energía; sin embargo, la estructura geológica general de Honduras se caracteriza por no tener volcanismos recientes, por lo tanto las fuentes de calor de los reservorios geotérmicos encuentran su origen en procesos tectónicos.

Durante el terciario, Honduras se encontraba moviéndose al este, hacia su posición actual mientras tanto la actividad volcánica depositó lavas y capas gruesas de tobas sobre el occidente y el sur de Honduras. Se piensa que mucha de esta actividad está relacionada con la subducción de la placa Cocos debajo del bloque Chortis. Este período también coincide aproximadamente con la apertura de la Fosa del Caimán (Rosencrantz et al, 1988) La fosa Caimán es una pequeña zona de acreción con fallas transformes con desplazamientos laterales a la izquierda. La serie compleja de fallas en forma de cola de caballo en el noroeste de Honduras y sur de Guatemala (falla Motagua, falla Polochic, y otras) pueden ser parte de un proceso de deformación intraplaca que está acomodando los grandes desplazamientos creados por la fosa Caimán (Rosencrantz y Sclater, 1988).

Otro aspecto estructural significativo de Honduras, es el ambiente extensional que se va desde la costa norte en el Valle de Sula hacia el Golfo de Fonseca. Esta serie de grabens discontinuos Norte-Sur son conocidos como la Depresión de Honduras, (Redfield, 1923; Muehlberger, 1976). El movimiento migratorio hacia el este de la placa Caribe es la explicación más probable para esta extensión local (Mann y Burke, 1984).

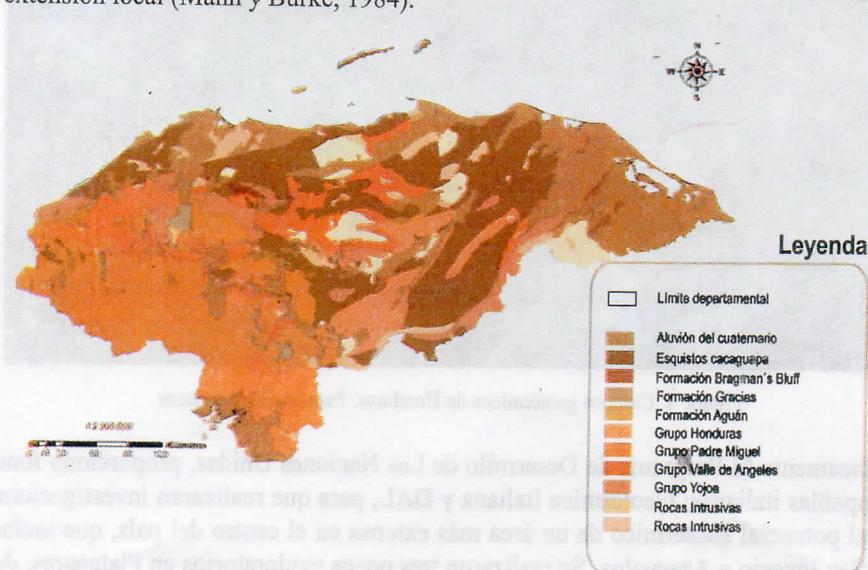


Figura 2 Mapa geológico de Honduras. Fuente: SAG

Estratigrafía

La columna estratigráfica presentada en la figura 3, tomada del mapa geológico de Honduras exhibe una gran variedad de litologías debido a los diversos movimientos tectónicos que los han producido.

Esquistos Cacaguapa: Horne et al (1976) describen el basamento como una secuencia de rocas metamórficas que consisten en filitas y esquistos micáceos de bajo grado con cuarcitas y mármoles subordinados (que prevalecen en la parte superior). Carpenter (1954) describe que las rocas tienen una foliación muy distinta y contienen cuerpos gruesos de cuarzo blanco lechoso que miden hasta 30 cm de espesor. En ocasiones se presentan moldes de pirita de 1 a 3 cm. de espesor.

SISTEMA	SERIE / ETAPAS	HONDURAS OCCIDENTE Y CENTRAL	HONDURAS ORIENTE	
CUATERNARIO	Holoceno	ALUVION	ALUVION	
	Pleistoceno	BASALTOS	FM. BRAGMAN'S BLUFF	
TERCIARIO	Plioceno	F.M. GRACIAS	ROCAS VOLCANICAS	
	Mioceno	F.m. SUBINAL G.R. PADRE MIGUEL	?	
	Oligoceno		?	
	Eoceno		?	
	Paleoceno	F.M. MATAGALPA	?	
CRETACICO	SUPERIOR	MAASTRICHTIANO	ROCAS VOLCANICAS	
		CAMPANIANO	FM. AGUAN	
		SANTONIANO	?	
		CONIACIANO	?	
		TURONIANO	?	
	INFERIOR	CENOMANIANO	GR VALLE DE ANGELES	GRUPO VALLE DE ANGELES
		ALBIANO	YESO F.M. ESQUIAS Mbr. GUARE Fm. JAITIQUE	
		APTIANO	CAPAS ROJAS INFERIORES	
		BARREMIANO	FM. ATIMA	GRUPO YOJOA
		HAUTERIVIANO	L. MOCHITO	
JURASICO	SUPERIOR	FM. CANTARRANAS		
	MEDIO	GR HONDURAS	GRUPO HONDURAS	
	INFERIOR	UNIDAD SILICLASTICA SIN NOMBRE FM. AGUA FRIA FM. EL PLAN		
PALEOZOICO		ESQUISTOS CACAQUAPA	ESQUISTOS CACAQUAPA	

Figura 3 Columna estratigráfica de Honduras

Grupo Honduras: Una secuencia gruesa de rocas sedimentarias descansa sobre el basamento Paleozoico principalmente en la parte central de Honduras. En cuanto al grupo inferior, Ritchie y Finch (1985) han medido la sección más gruesa de sedimentos hasta la fecha (1570m) y sospechan que el espesor verdadero sobrepasa esta medida. Además de las capas de lutitas y areniscas delgadas, existen capas masivas de arenisca en la base de la formación que alcanzan un espesor de varios metros. Entre ellos se encuentran ocasionalmente capas de carbón. Fósiles de plantas y fragmentos de amonitas han revelado una edad del Jurásico medio para estas rocas con un paleoambiente correspondiente a una delta o mar de poca profundidad.

En cuanto al miembro superior del Grupo Honduras, al sur del Lago de Yojoa hay un contacto conforme con la formación Atima. De esta manera puede decirse que el límite superior del Grupo Honduras es pre-Atima o Cretácico temprano.

Grupo Yojoa: El miembro inferior de la secuencia de carbonatos del grupo Yojoa es la Formación Cantarranas, nombre dado a las calizas y lutitas calcáreas interestratificadas que se encuentran en la zona minera El Rosario. Estudios indican que la formación Cantarranas tiene un espesor de 30 a 190 m. La naturaleza de los sedimentos indica que fueron depositados en un ambiente de arrecife trasero.

Sobre la formación Cantarranas descansa el miembro que más aflora del Grupo Yojoa, La formación Atima. Los trabajos de varios investigadores indican que la litología consiste en calizas (micrita o biomicrita) masivas de color gris oscuro con lutitas delgadas entre las capas. La formación alcanza un espesor de más de 1000 m en ciertos lugares aunque la sección incompleta de Atima sólo mide 595 m de espesor.

Grupo Valle de Ángeles: El grupo Valle de Ángeles es una secuencia de estratos siliclásticos de capas rojas con cuatro divisiones principales; las capas rojas inferiores, la formación Jaitique, La formación Esquías y las capas rojas superiores. Básicamente, un conglomerado de guijarros de cuarzo y caliza con un alto porcentaje de estratos clásticos de grano grueso constituye el Valle de Ángeles inferior.

Encima del conglomerado de cuarzo descansa una unidad de caliza llamada Jaitique que está compuesta por dos miembros. El miembro inferior consiste en capas masivas de calizas oscuras sin nombre particular. El miembro superior, el Miembro Guare, está compuesto de capas delgadas de calizas con capas finas de lutitas interestratificadas. Estas capas oscuras de caliza poseen el olor característico del petróleo al quebrarse.

La formación Esquías es otra unidad de calizas masivas que divide el Grupo Valle de Ángeles en dos partes. Estas capas consisten en calcilitas de color café claro, micrita arcillosa de color café-gris, y calcerenitas de color azul gris. Fósiles revelan una edad Cenomiano tardío a Turoniano temprano e indican que estos sedimentos fueron depositados bajo condiciones marinas de poca profundidad.

Finalmente, el Grupo Valle de Ángeles superior consiste en estratos clásicos rojos de grano fino. Cuerpos masivos y vetas de yeso se encuentran localmente.

Formación Aguán: Se llama así a los sedimentos del Sur de Trujillo, compuestos de sedimentos silíceos de grano fino con laminaciones finas y algunas calizas y cenizas volcánicas interestratificadas. Algunas unidades contienen foraminíferas y radiolarias de afinidad del Cretácico superior. La sucesión parece ser una secuencia de un banco marino que ha sido arrojado del norte sobre Honduras.

Volcánicos del Terciario: De todas las rocas en Honduras, es probable que las más difíciles de clasificar sean las de origen volcánico. Se sabe que hay grandes porciones de rocas volcánicas del terciario en el oriente y occidente del país.

Formación Matagalpa: Existen afloramientos de andesitas, basaltos y depósitos piroclásticos de la parte norte de América Central como formación Matagalpa. La roca fresca revela un color morado oscuro o negro y una textura porfirítica. Muchas veces, zonas silificadas se encuentran en estas rocas que forman pequeños picos resistentes a la erosión. Su espesor varía entre los 20 y 350m.

Formación Subinal: Están relacionadas a la falla Motagua en el sureste de Guatemala. Se caracterizan por ser capas rojas compuestas de arenisca, lutitas y conglomerados, los cuales contienen a su vez guijarros de caliza, fragmentos volcánicos (generalmente andesitas y basaltos), y cuarzo. La apariencia de estas capas con las del Grupo Valle de Ángeles a veces hace difícil su distinción. Se calcula un espesor mínimo de 200 m para esta formación.

Grupo Padre Miguel: Una secuencia de ignimbritas cubre la mayoría del occidente de Honduras y descansan en una relación disconforme sobre la formación Matagalpa. Williams y McBirney (1969) calcularon que puede haber 5000km² de material volcánico cubriendo el país. Las rocas más notables de esta formación son las ignimbritas riolíticas blancas pero entre ellas también hay tobas (cenizas depositadas bajo agua y en tierra), lahars, sillars y sedimentos piroclásticos. Las rocas sedimentarias derivadas de coladas de basalto, andesita y riolita contienen pómez y fragmentos piroclásticos.

Formación Gracias: Generalmente constituidas por arenas, arcillas y conglomerados volcánicos. Es probable que sean productos de erosión de las rocas del Grupo Padre Miguel por la cantidad de material volcánico que contienen. Se le ha asignado un espesor entre 200 y 300 m.

Formación Bragman's Bluff: este tipo de formación sólo aparece en la mosquitia. La mayoría de capas consisten en lutitas de color café rojizo interestratificados con capas delgadas de caliza y arenisca y que llegan a tener hasta 700 metros de espesor.

Volcánicos del cuaternario: Son principalmente máficas en composición (William y Mc Birney, 1969; Anderson, 1985) Consisten en coladas y conos volcánicos de basaltos toleíticos, andesíticas de serie oliviana, escombros piroclásticos y tobas brechosas (en la parte inferior). La mayoría de estas rocas, se encuentran a lo largo de una faja que se extiende desde el centro eruptivo del Lago de Yojoa hasta el golfo de Fonseca. Esta zona también coincide aproximadamente con la Depresión de Honduras.

Aluvión cuaternario: Los aluviones del Cuaternario generalmente ocupan los pisos de los grandes valles, las costas y los pies de las montañas. Por lo general, se presentan como terrazas de grava o depósitos de cauce. En algunos lugares las terrazas forman varios niveles (como en el Valle de Catacamas y a lo largo del Río Guayambre), de las cuales las superiores se encuentran a veces muy erosionadas.

Rocas intrusivas: Desde los diques que penetran las formaciones más recientes hasta los enormes cuerpos intrusivos, la distribución, composición y edad de estas rocas es muy extensa y variable en todo el país. Generalmente, estos cuerpos intrusivos son granitos, granodioritas, dioritas y tonalitas. La tesis de Southernwood (1986) contiene un resumen de las edades y composiciones de varias intrusiones estudiadas en Honduras hasta la fecha.

POTENCIAL GOTÉRMICO DE HONDURAS

En 1988 se realizaron estudios de geología y geoquímica por parte del Laboratorio Nacional de Los Álamos en los seis campos geotérmicos ya mencionados. De los estudios realizados en 1988, surgen los primeros modelos geológicos y las primeras aproximaciones de temperatura de reservorio, mediante geotermometría. A través del análisis de tritio, se estimaron los volúmenes de cada reservorio. Al combinar estos resultados con las temperaturas de cada uno de ellos, pudo estimarse también el contenido en energía calórica de cada área geotérmica de interés. Hoy en día se estima que la capacidad de generación eléctrica de que puede obtenerse de la explotación geotérmica en Honduras, asciende a un total de 116.1 MW.

En la Tabla 1, aparecen los campos geotérmicos estudiados y definidos como sistemas de alta temperatura ($>150^{\circ}\text{C}$) con interés para generación eléctrica, especialmente Platanares.

Temperaturas, volúmenes y energía de sistemas de convección de agua caliente hidrotermal $> 150^{\circ}\text{C}$

No	Nombre del área	Ubicación geográfica departamento	Temperatura promedio reservorio	Volumen promedio reservorio	Energía térmica promedio reservorio	Energía eléctrica estimada
			$^{\circ}\text{C}$	km^3	1018 J	Mwe 25años
1	Platanares	Copán	225	0,87	0,72	48 MW
2	San Ignacio	Francisco Morazán	190	0,38	0,26	20 MW
3	Azacualpa	Comayagua	185	5,20	3,4	22.1 MW
4	Pavana	Choluteca	150	0,92	0,43	11 MW
5	Sambo Creek	La Ceiba	155	1,16	0,61	15 MW
					Total	116,1 MW

TABLA 1. Sistemas Geotérmicos de Honduras

En la Tabla 2 se resume el estado actual de desarrollo de las etapas de Proyecto de los campos geotérmicos en Honduras.

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

Tabla 2. Estado de proyectos geotérmicos en Honduras

CAMPOS GEOTÉRMICOS EN EXPLORACIÓN

Área Geotérmica de Platanares

Ubicación:

El campo geotérmico de Platanares está situado en el departamento de Copán aproximadamente a 15 km al oeste de la ciudad de Santa Rosa, en las cercanías de las comunidades de Platanares, San Andrés y Azucualpa. Ver figura 4.



Figura 4. Localización del campo geotérmico de Platanares, La Unión, Copán

Información General

En el año 2005, la empresa GeoPlatanares adquirió la concesión del campo geotérmico de Platanares, realizando los procesos determinados por la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, y reanudó las actividades de exploración y actualizó las bases de datos de geoquímica

y geofísica. Platanares es el campo geotérmico con más potencial en este país y actualmente se encuentra en la fase final de factibilidad.

Síntesis Geocientífica y Modelo Conceptual

a) Síntesis Geológica

Las manifestaciones termales se encuentran localizadas en un graben a lo largo de fallas en tobas, en rocas sedimentarias tobaceas y en lavas del Grupo Padre Miguel. Dichas tobas se encuentran silificadas cerca de las fallas, las cuales están fracturadas y proporcionan la permeabilidad necesaria para el sistema hidrotermal. Las tobas están cubiertas por una terraza de grava de hasta 60 m de espesor. Los conglomerados cuaternarios se encuentran consolidados por sílice sinterizada a lo largo de la quebrada llamada Agua Caliente. El área de Platanares tiene numerosas fallas, las cuales parecen ser extensionales. Hay cuatro grupos de fallas que en su mayor parte tienen orientación hacia el noroeste y al norte, entre ellas (N80°E a N70°O, N30°O a N60°O, N40°E a N65°E y N0° a N5°O). Se han descrito veintiocho grupos de manifestaciones termales, la mitad en ebullición, en un área de 0,2 km².

b) Síntesis Geofísica

Dentro del área Platanares se han realizado diversas prospecciones geofísicas tal como se resume a continuación:

Resistividad eléctrica: Método Magnetotelúrico y TDEM

En junio 2005, GeoSystem Srl. Realizó una exploración mediante sondeos magnetotelúricos en el área de Platanares. El estudio consistió en 31 estaciones en una malla irregular espaciadas entre 500 y 1000 m. En cada sitio se registraron los campos electromagnéticos (EM) naturales en una banda de 0.01 Hz a 10 kHz. Adicionalmente en cada sitio de observación MT se realizaron sondeos con transitorios electromagnéticos (TDEM) con objeto de conocer la resistividad cercana a la superficie (<200 m). Estos sondeos TDEM se interpretaron en términos de capas planas y los modelos resultantes se utilizaron para estimar una cura de resistividad aparente MT a frecuencias altas. Esto con el objeto de utilizarla como referencia para desplazar las curvas MT y minimizar el efecto estático.

En la Figura 5 se muestran los resultados en tres de los perfiles que pasan cercanos a los 3 pozos de gradiente existentes. Los perfiles muestran una zona relativamente resistiva (>15 Ohm-m) bien delimitada, que se profundiza hacia el SE. Los pozos PLTG-1 y PLTG-3 permiten correlacionar esta resistividad con la formación geológica Valle de Ángeles. Según Goff et al. (1991), esta formación tiene alrededor de 9% de porosidad y contiene fluidos con un bajo porcentaje de sólidos disueltos totales, lo cual está en concordancia con una resistividad del orden estimado por el MT.

La cobertura conductora (< 5 Ohm-m) que se observa arriba de la zona resistiva, apoya la existencia de una zona de alteración hidrotermal, que comúnmente cubre algunos reservorios geotermales conocidos.

La Figura 6 compara el perfil de resistividad NE-1 y el perfil geológico de Heiken et al. (1991). Puede verse que la formación Padre Miguel que aflora en el área se puede asociar a la resistividad más alta (>50 Ohm-m) cuando no está saturada y a resistividades relativamente menores (<20 Ohm-m) si se encuentra por debajo del nivel freático. La formación Subinal y la andesita Matagalpa corresponden con bajas resistividades, sobre todo si están hidrotermalmente alteradas

Gravimetría

Los LANL-USGS-ENEE realizaron alrededor de 500 estaciones gravimétricas en el área de Platanares con el objetivo de mapear la geometría de las estructuras en el subsuelo posiblemente asociadas al reservorio y/o a zonas de migración de fluidos (fallas), (Garety, 1986).

En la figura 7 se observa una tendencia NO-SE de los valores positivos de la gravedad, hay dos máximos alineados según esta tendencia y un tercero en el extremo SO del mapa. La interpretación cualitativa del máximo que se encuentra en la vecindad del pozo PLTG-1 es que probablemente refleje una zona de alteración hidrotermal que generalmente densifica la roca. El máximo más intenso en la esquina NO del mapa es evidentemente causado por las rocas del Paleozoico.

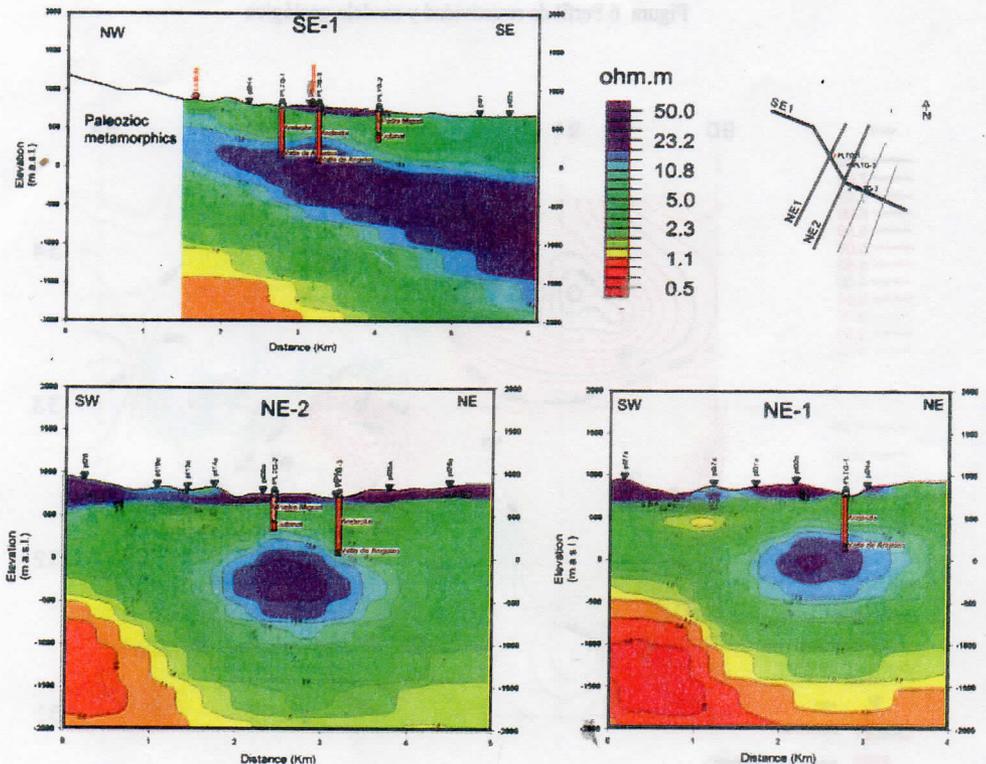


Figura 5 Resistividad medida a través de TDEM y MT

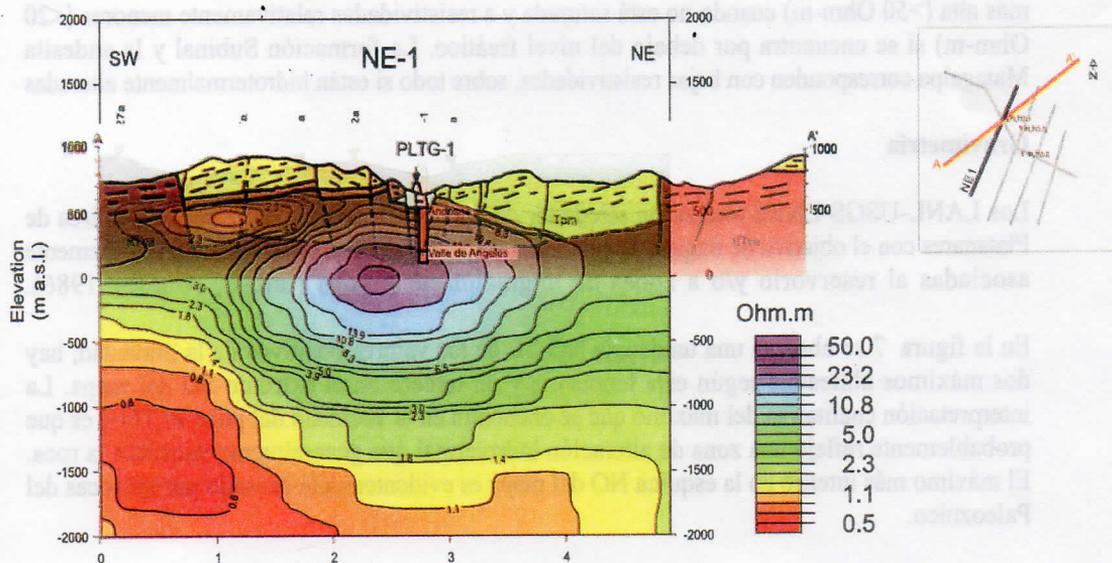


Figura 6 Perfil de resistividad y modelo geológico

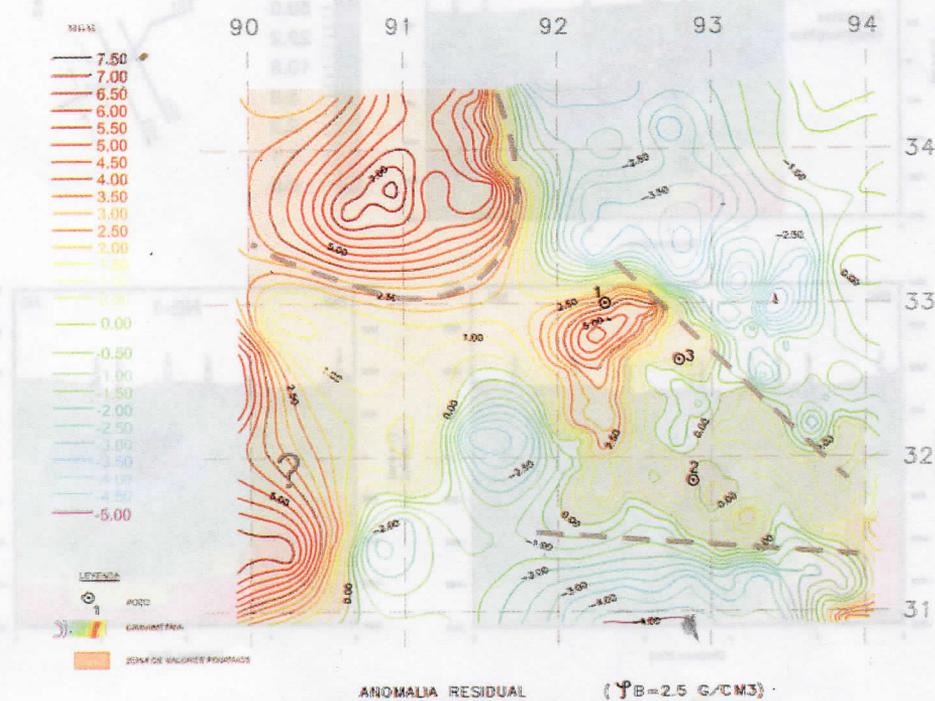


Figura 7. Anomalia de Bouguer. $D = 2.5 \text{ g/cm}^3$

c) Síntesis Geoquímica

En el área geotérmica de platanares se han identificado varios manantiales termales, algunos en ebullición, los cuales evidencian la presencia de un sistema hidrotermal de potencial interés comercial. Estas fuentes fueron analizadas por El Laboratorio Nacional de los Álamos y los datos recopilados fueron comparados con los que surgieron de la campaña hidrogeoquímica realizada por GeoPlatanares en el 2006, en donde las muestras fueron analizadas en el IGG-CNR de Pisa. Los resultados de ambos estudios se muestran congruentes y de ellos se ha planteado el modelo actual del reservorio geotérmico de Platanares.

Sistema Hidrológico

El agua termal de Platanares se caracteriza por su bajo contenido en cloro lo que indica la ausencia de un componente magmático, presente en la mayoría de sistemas geotérmicos de la región centroamericana. Las características del agua son propias de la circulación profunda de agua meteórica en zonas de alto gradiente de temperatura. Las aguas son de pH alcalino y la interacción con las rocas les ha dado una composición sodio – sulfato – bicarbonato.

Las mediciones de conductividad eléctrica indican un valor máximo de 3850 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicando que las aguas son de baja salinidad.

Geotermometría: El cálculo de la temperatura por geotermometría acuosa de los manantiales más representativos del sistema profundo, indica un rango de 200 °C a 225 °C.

Los geotermómetros aplicados que presentan dicho rango de temperatura son: Cuarzo Fournier (1977): 200° C; Na-K Arnorsson (1998): 215°C; Na-K Fournier (1979): 225° C

La Geotermometría de gases indica:

D'Amore Panichi: 224° C; 18 O/SO4: 227° C

Al considerar las temperaturas de los geotermómetros aplicados tanto para las aguas como para los gases, se obtiene una temperatura promedio de alrededor 220 °C lo cual es bastante consistente e indicativo de las temperaturas del sistema profundo.

Pruebas especiales: El contenido isotópico del pozo PLTG-1 es de -46.1 ‰ de deuterio y -6.60 ‰ de oxígeno 18, lo que indica que la recarga del sistema es local.

d) Pozos Existentes:

En el área de Platanares se han perforado tres pozos de gradiente de los cuales se presenta un resumen en la tabla 3.

	PLTG-1	PLTG-2	PLTG-3
Profundidad	650.4 m	401 m	679 m
Ademe	588.4 m	-	387.7 m
Temperatura máxima	160°C	104°C	164°C
Gradiente de temperatura	246 ° C/km	260 ° C/km	241 ° C/km
Zona de producción	625 -644 m	-	459 m, 480-550 m, 622-635 m
Entalpía	675 J/kg	-	692.5 J/kg
Presión	2.18 kg/cm ²	-	4.19kg/cm ²
Caudal	327 L/min	-	487 L/min

Tabla 3. Pozos de gradiente en platanares

Modelo Conceptual del Campo

A partir de los resultados obtenidos en los estudios geocientíficos realizados en el área geotérmica de Platanares, se ha construido un modelo conceptual el cual resume los aspectos relevantes aportados por las disciplinas geología, geoquímica y geofísica en el conocimiento de este sistema geotérmico.

La fuente de calor: Las características de la región indican que la fuente de calor no se origina en volcanismos recientes, sino más bien en actividades tectónicas que provocan un adelgazamiento en la corteza profunda.

Zona de recarga: De los datos obtenidos de los isótopos estables se concluye que la recarga del sistema Platanares es local, proveniente de las regiones de mayor elevación al norte y noroeste. Los datos de tritio sugieren que la filtración a través de las rocas ocurre muy lentamente. El tiempo de residencia promedio del fluido es de alrededor de 450 años

Reservorio: La geoquímica indica que el agua del reservorio está equilibrada en roca sedimentaria, probablemente en el grupo Valle de Ángeles del Cretáceo al Eoceno. La interpretación de los sondeos de los estudio de magnetotelúrica realizados posteriormente confirman este hecho.

Zona de ascenso: El 95% de las manifestaciones existentes se encuentran a lo largo de la falla de la quebrada Agua Caliente; sin embargo, parte de este flujo se distribuye a lo largo de fallas y fracturas del graben en el área de Platanares. El reservorio está delimitado al norte por la falla de La Bufa. Las otras delimitaciones no están estructuralmente definidas, pero se estima que la zona tiene un área de 3.5 km². Una vez que el fluido se calienta y se equilibra con la roca, asciende lenta y convectivamente a lo largo de fallas y fracturas en rocas frías perdiendo calor por conducción.

Parte del fluido ascendente enfriado a 202 °C se mueve rápidamente en ascenso a la superficie perdiendo calor adicional por ebullición, la que ocurre a una profundidad de 173 m. La otra

parte del fluido se enfría aún más mediante conducción, formando un reservorio de agua somero (profundidad de 625 m) antes de continuar ascendiendo hasta alcanzar la ebullición a 57 m de la superficie. El gradiente de temperatura encontrado en el PLTG-2 sugiere la existencia de flujo lateral hacia el sur a lo largo del río Lara. La geotermometría ha ayudado a indicar la existencia de un reservorio profundo con una temperatura aproximada 225° C, el cual se estima, mediante la interpretación de la magnetotélúrica y geoquímica, que se encuentra a una profundidad de 1.2 y 1.5 km. Ver figuras 8 y 9.

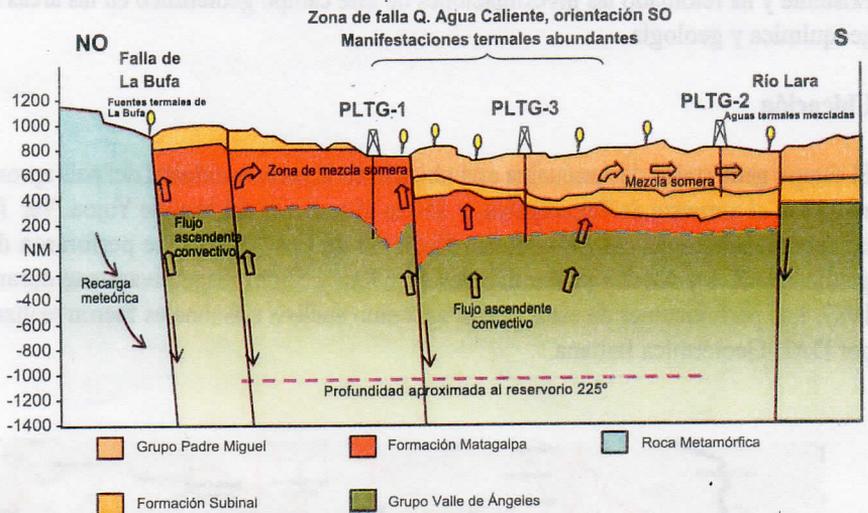


Figura 8. Modelo propuesto para el reservorio de Platanares.

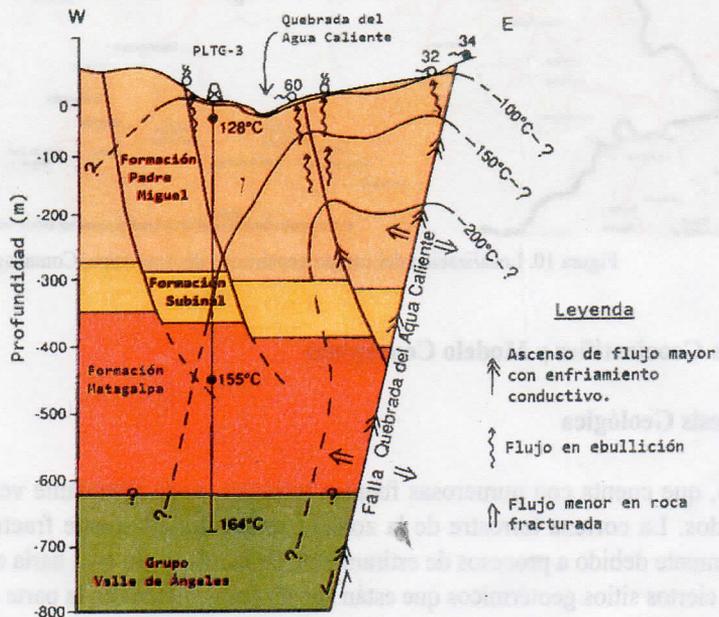


Figura 9. Modelo del reservorio somero de Platanares mostrando isoterma.

Área geotérmica de Azacualpa

Información General

La empresa Hondureña de generación de energía eléctrica GeoPower S.A., ha adquirido la licencia geotérmica para la explotación del área de Azacualpa, considerado el tercer campo geotérmico más atractivo de Honduras y a partir del año 2005 ha reevaluado la información existente y ha retomado las investigaciones de este campo geotérmico en las áreas de geofísica, geoquímica y geología.

Ubicación

El campo geotérmico de Azacualpa está ubicado en la parte occidental del país aproximadamente a 100 km al noroeste de Tegucigalpa, y 35 km al suroeste del lago de Yojoa. Ver figura 10. De las recomendaciones del Laboratorio Nacional de Los Álamos, se perforaron dos pozos de gradiente AZ-1 y AZ-2 a profundidades de 650m y 500m respectivamente durante el año de 1987. Las perforaciones de estos pozos, así como análisis adicionales fueron realizadas en 1988 por DAL-Geotérmica Italiana.



Figura 10. Localización del campo geotérmico de Azacualpa, Comayagua.

Síntesis Geocientífica y Modelo Conceptual

a) Síntesis Geológica

El sitio, que cuenta con numerosas fuentes termales, tiene abundante vegetación y cañones profundos. La corteza terrestre de la zona se encuentra altamente fracturada y adelgazada posiblemente debido a procesos de estiramiento de la misma; lo cual haría el área de Azacualpa similar ciertos sitios geotérmicos que están siendo desarrollados en la parte oeste de los Estados Unidos. Los fluidos termales ascienden a la superficie a través de segmentos de la falla Zacapa

(N-S) en la formación Atima. La permeabilidad del sistema está relacionada principalmente a las fracturas en lugar de la permeabilidad propia de las rocas calizas de la formación Atima o las estructuras del grupo Valle de Ángeles. La disposición de las formaciones rojas inferiores del Grupo Valle de Ángeles no varía apreciablemente con respecto a la distancia de la falla Zacapa, sugiriendo que en la profundidad el sistema de fallas no se comporta como falla listrica normal. En términos de estructuraciones visibles o mensurables en los mantos rojos, la estructura Jaitique no parece tener ninguna manifestación en la superficie.

b) Síntesis Geofísica

Bajo contrato de GeoPower, GeoSystem Inc. realizó un total de 49 sondeos de MT y TDEM en el área de Azacualpa durante julio del 2005.

La inversión 3D de los datos obtenidos, muestra la presencia de una baja resistividad en la parte central del área de investigación, que corresponde a la unidad Valle de Ángeles (capas rojas). Este comportamiento probablemente se deba a la saturación o alteración con fluido hidrotermal. Las figura 11 muestra el perfil de resistividad a partir de los datos obtenidos mediante TDEM, correlacionados con los perfiles de los pozos de gradiente.

Los estudios indican la existencia de un reservorio de alta entalpía a una profundidad de alrededor de los 1500 m.

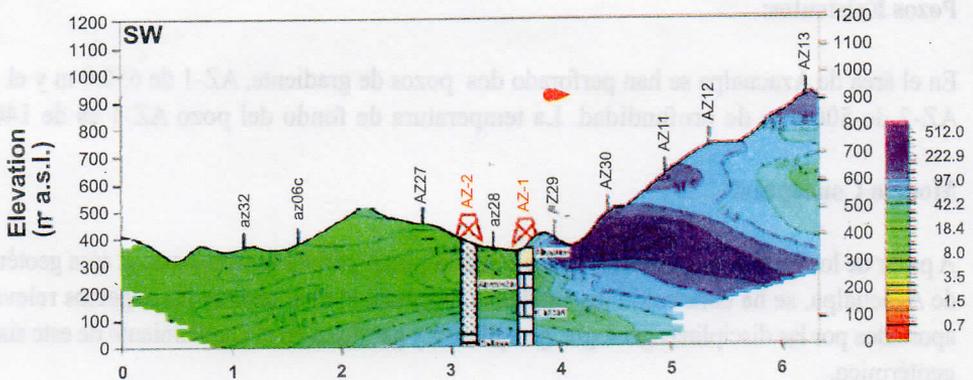


Figura 11 Perfil de resistividad a partir de TDEM.

c) Síntesis Geoquímica

Características sistema superficial

Sistema Hidrológico

La caracterización de las aguas del campo geotérmico. La temperatura medida en fuentes con evidente termalidad está en el rango de 77a 95°C y en las fumarolas la temperatura varía entre 99 y 115 °C, ambas con un pH entre 6.80 y 8.90.

Salinidad (Cl): Las mediciones indican un máximo de 28.4 mg/l. Este contenido en cloro es relativamente bajo indicando la ausencia de un componente magmático, el cual sí se presenta en la mayoría de los sistemas hidrotermales de Centro América.

Geotermometría: El cálculo de la temperatura por geotermometría acuosa está en el rango de 180 a 200 °C.

Geotermómetros utilizados:

Cuarzo Fourier (1977): 184° C ;

Na-K Fournier (1979): 202° C

Sistema Fumarólico

Temperaturas: 99 - 115 °C;

Geotermometría: CO₂-CH₄ 179° C

Mediciones Químicas:

Pruebas especiales: El contenido isotópico promedio es -31.85 ‰ de deuterio y -5.42 ‰ de oxígeno 18. Esto demuestra que la recarga del sistema es local.

Pozos Existentes:

En el área de Azacualpa se han perforado dos pozos de gradiente, AZ-1 de 650.0 m y el pozo AZ-2 de 500.0 m de profundidad. La temperatura de fondo del pozo AZ-1 es de 140° C.

Modelo Conceptual

A partir de los resultados obtenidos en los estudios geocientíficos realizados en el área geotérmica de Azacualpa, se ha construido un modelo conceptual el cual resume los aspectos relevantes aportados por las disciplinas geología, geoquímica y geofísica en el conocimiento de este sistema geotérmico.

La fuente de calor: Distinto a la mayoría de sistemas geotérmicos en Centroamérica, Azacualpa no está asociado a volcanismos. La fuente de calor se deriva de la circulación profunda de agua subterránea a lo largo de sistemas de fallas donde el fluido recibe energía relacionada a gradientes termales naturales en el interior de la tierra.

Zona de recarga: De los datos obtenidos de los isótopos estables se concluye que la recarga del sistema Azacualpa es local, proveniente de las montañas que rodean la zona. Los datos de tritio sugieren que la filtración a través de las rocas ocurre muy lentamente. El tiempo de residencia promedio del fluido es de alrededor de 4000 años.

Reservorio: La geoquímica indica que el agua del reservorio se extiende a lo largo de la falla Zacapa debido al alto contenido en calcio y sulfato proveniente de gipsium en el grupo Valle de Ángeles. El sistema de manifestaciones termales de Azacualpa se ensancha a través de bloques estructurales entre dos zonas de fallas, por lo que podría tenerse un reservorio relativamente extenso con un área máxima de 27 km².

A partir de los datos anteriores se tiene el siguiente modelo para el reservorio de Azacualpa, mostrado en la figura 12.

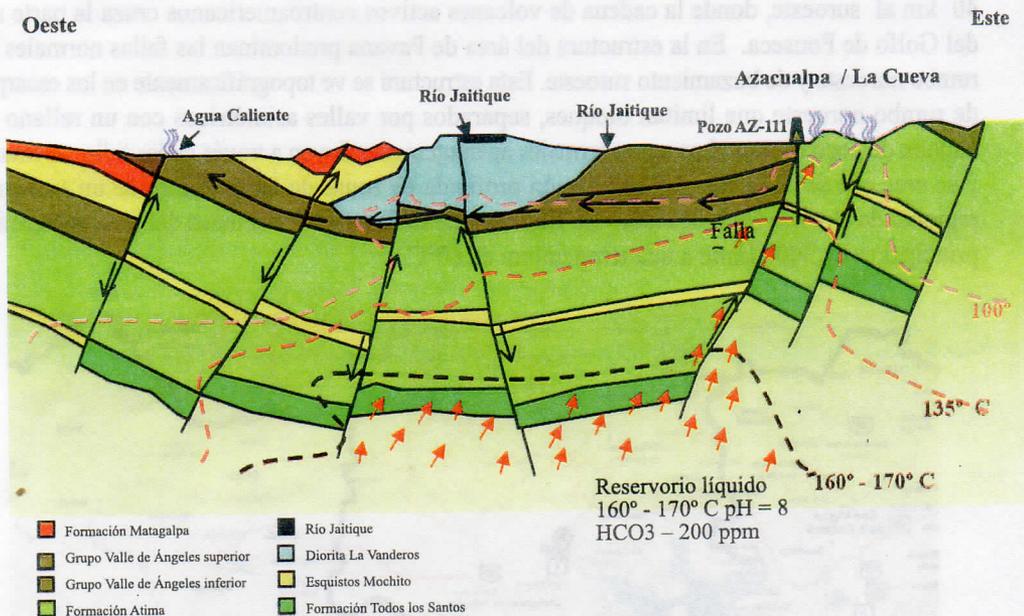


Figura 12. Modelo de reservorio propuesto para el campo geotérmico de Azacualpa.

Área geotérmica de Pavana

Información general

Estudios de reconocimiento en geotermia realizados en el país, indicaron que el campo geotérmico de Pavana posee presencia de recursos potenciales en cuanto a su aplicación en generación de electricidad. GeoPower S.A. ha dedicado recursos para continuar con las evaluaciones del sitio y actualmente el proyecto se encuentra en etapa finalización de la factibilidad del mismo.

Ubicación

El área se encuentra ubicada en el departamento de Choluteca al sur de Honduras, aproximadamente a tres kilómetros al sudeste del pueblo de Pavana adyacente a la Carretera Panamericana. Ver figura 13.

Síntesis Geocientífica y Modelo Conceptual

a) Síntesis Geológica

El área geotérmica de Pavana está situada en la parte sur de Honduras cerca del Golfo de Fonseca. Esta región está subyugada por rocas volcánicas del Terciario Tardío. En las montañas cercanas a las manifestaciones geotérmicas, las rocas características son brechas de laháricas intermedias a máficas, sobreyugadas por tobas y lavas silíceas, que a su vez yacen debajo de brechas intermedias máficas, lavas y tobas. Los volcanes cuaternarios más cercanos están a 40 km al suroeste, donde la cadena de volcanes activos centroamericanos cruza la parte sur del Golfo de Fonseca. En la estructura del área de Pavana predominan las fallas normales de rumbo noroeste y de buzamiento suroeste. Esta estructura se ve topográficamente en los escarpes de rumbo noroeste que limitan bloques, separados por valles asimétricos con un relleno de aluvión de poco espesor. Las aguas termales aparentemente fluyen a través de las fallas normales y se cree que se calientan por circulación profunda en zonas de fallas dentro de un ambiente regional de elevado flujo de calor. El flujo natural de las manifestaciones del área geotérmica principal es de 3000 l/min a una temperatura de 60°C.



Figura 13. Localización del campo geotérmico de Pavana, Choluteca.

b) Síntesis Geofísica

Bajo contrato de GeoPower, GeoSystem Inc. realizó un total de 25 sondeos de MT y TDEM en el área de Pavana durante julio del 2005.

La inversión 3D de los datos obtenidos muestran la posición de la falla Pavana y la existencia de un alto resistivo paralelo a 2.5 km al oeste de esta. Las bajas resistividades observadas no pueden estar asociadas a los fluidos termales ya que tanto el contenido en sodio como la conductividad eléctrica de estos son bajos. Las bajas resistividades estarían relacionadas a riolitas terciarias alteradas.

Sistemas geotérmicos de baja entalpía podrían asociarse con permeabilidades verticales a lo largo de la zona de fallamiento, o a lo largo del alto resistivo. Esto sugiere la posibilidad de que el alto resistivo se deba a la mineralización de cuarzo o calcita a lo largo de la zona de fallas nor oeste, pasando directamente más hacia el oeste de las dos áreas de manifestaciones termales. Ver figura 14.

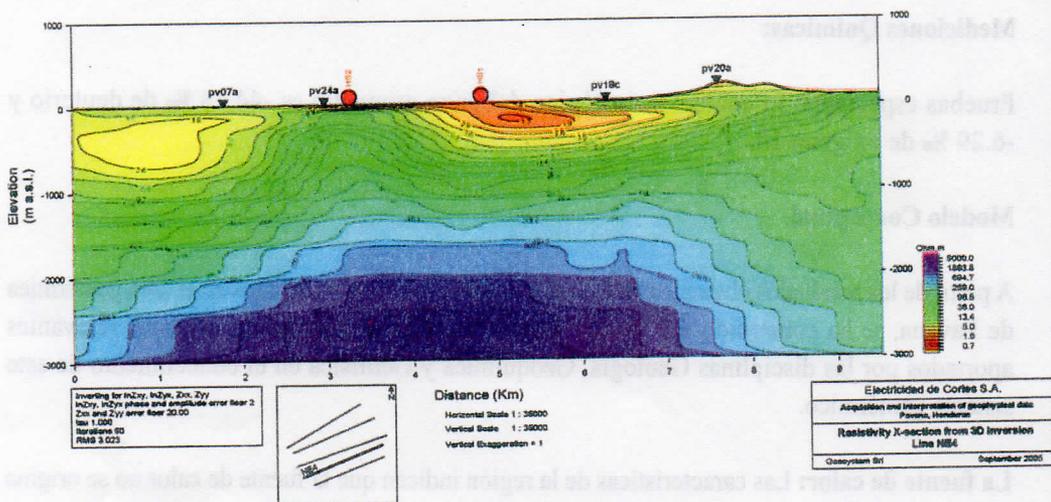


Figura 14. Perfil de resistividades para la zona de Pavana, Choluteca

c) Síntesis Geoquímica

Características sistema superficial

Sistema Hidrológico

La caracterización de las aguas del campo geotérmico de Pavana. La temperatura medida en fuentes con evidente termalidad está en el rango de 65 a 92°C y en las fumarolas aproximadamente 101 °C, el pH de ambas varía entre 6.0 y 8.0

Salinidad (Cl): Las mediciones indican un máximo de 34.2 mg/l (Cl)

Geotermometría: El cálculo de la temperatura por geotermometría acuosa está en el rango de 180 a 200 °C.

Geotermómetros

Cuarzo: 150° C;

Na-K 152° C ;

Na-K-Ca 140° C

Sistema Fumarólico

Temperatura: 101 °C

Geotermometría:

CO₂-CH₄ 144° C

Mediciones Químicas:

Pruebas especiales: El contenido isotópico del pozo promedio es -44.18 ‰ de deuterio y -6.29 ‰ de oxígeno 18.

Modelo Conceptual

A partir de los resultados obtenidos en los estudios geocientíficos realizados en el área geotérmica de Pavana, se ha construido un modelo conceptual el cual resume los aspectos relevantes aportados por las disciplinas Geología, Geoquímica y Geofísica en el conocimiento de este sistema geotérmico.

La fuente de calor: Las características de la región indican que la fuente de calor no se origina en volcanismos recientes, sino más bien en actividades tectónicas.

Zona de recarga: De los datos obtenidos de los isótopos estables se concluye que la recarga del sistema Pavana es de carácter meteórico, local, proveniente de las tierras altas volcánicas al noreste. Los datos de tritio sugieren que la filtración a través de las rocas ocurre muy lentamente. El tiempo de residencia promedio del fluido es de alrededor de 5000 años

Reservorio:

El modelo propuesto sugiere que el fluido termal circula a través de unidades de lahares estratificadas, fracturadas al suroeste de la falla de Pavana. Una vez que el fluido alcanza la temperatura de 150° C, emerge principalmente por la zona de la falla de Pavana llenando las fracturas que alimentan las fumarolas y fuentes termales. Debido a las pérdidas de sílice en algunas fuentes termales se sospecha que el reservorio es más frío a medida que se extiende al oeste. A partir de los datos anteriores se tiene el siguiente modelo para el reservorio de Pavana, mostrado en la figura 15.

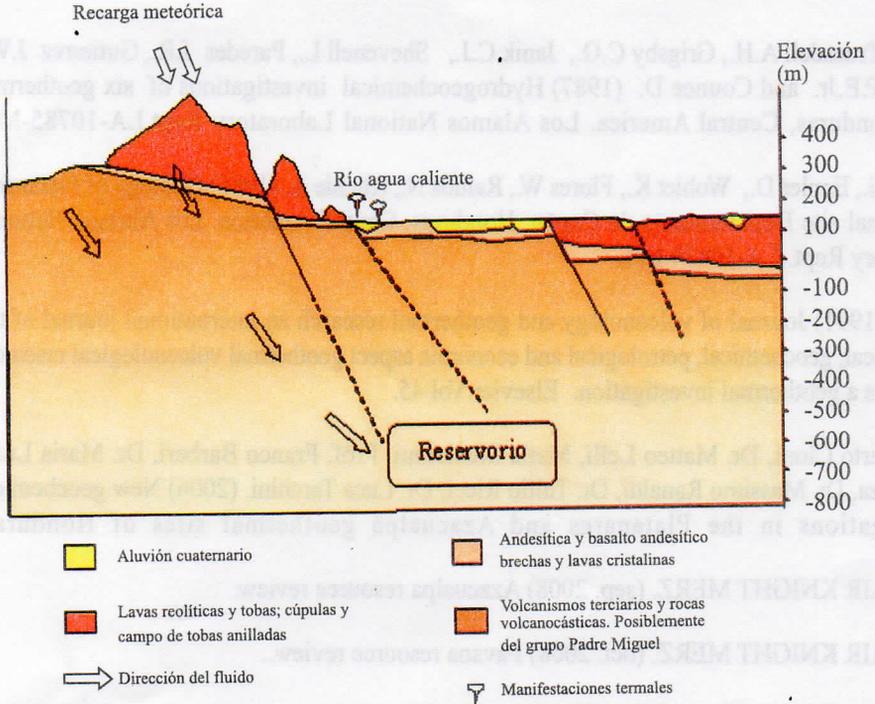


Figura 15. Modelo de reservorio propuesto para el área de Pavana, Choluteca

REFERENCIAS

Goff F., Truesdell A.H., Grigsby C.O., Janik C.J., Shevenell L., Paredes J.R., Gutierrez J.W., Trujillo P.E.Jr. and Counce D. (1987) Hydrogeochemical investigations of six geothermal sites, Honduras, Central America. Los Alamos National Laboratory Rept.LA-10785-MS.

Heiken G., Eppler D., Wohlet K., Flores W., Ramos N., Ritchie A. (1986) Geology of Platanares geothermal site Departamento de Copán, Honduras, Central América. Los Alamos National Laboratory Rept. LA-10634-MS.

Goff F. (1991) Journal of volcanology and geothermal research an international journal of the geophysical, geochemical, petrological and economic aspect geothermal volcanological research. Honduras a geothermal investigation. Elsevier Vol 45.

Dr. Roberto Cioni, Dr. Matteo Lelli, Matia Menichini, Prof. Franco Barberi, Dr. Maria Luisa Carapezza, Dr. Massimo Ranaldi, Dr. Tullio Ricci, Dr. Luca Tarchini. (2006) New geochemical investigations in the Platanares and Azacualpa geothermal sites of Honduras.

SINCLAIR KNIGHT MERZ. (sep. 2008) Azacualpa resource review.

SINCLAIR KNIGHT MERZ. (oct. 2008) Pavana resource review..

GEOSYSTEM Srl. Milan, Italy. (2005) Acquisition and interpretation of geophysical data, Platanares, Honduras. Volume 1/1.

GEOSYSTEM Srl. Milan, Italy. (2005) Acquisition and interpretation of geophysical data, Azacualpa, Honduras. Volume 1/1.

GEOSYSTEM Srl. Milan, Italy. (2005) Acquisition and interpretation of geophysical data, Pavana, Honduras. Volume 1/1.

Goff F., Truesdell A.H., Grigsby C.O., Janik C.J., Shevenell L., Paredes J.R., Gutierrez J.W., Trujillo P.E.Jr. and Counce D. (1987) Hydrogeochemical investigations of six geothermal sites, Honduras, Central America. Los Alamos National Laboratory Rept.LA-10785-MS. Heiken G., Eppler D., Wohlet K., Flores W., Ramos N., Ritchie A. (1986) Geology of Platanares geothermal site Departamento de Copán, Honduras, Central América. Los Alamos National Laboratory Rept. LA-10634-MS.

Goff F. (1991) Journal of volcanology and geothermal research an international journal of the geophysical, geochemical, petrological and economic aspect geothermal volcanological research. Honduras a geothermal investigation. Elsevier Vol 45.

Dr. Roberto Cioni, Dr. Matteo Lelli, Matia Menichini, Prof. Franco Barberi, Dr. Maria Luisa Carapezza, Dr. Massimo Ranaldi, Dr. Tullio Ricci, Dr. Luca Tarchini. (2006) New geochemical investigations in the Platanares and Azacualpa geothermal sites of Honduras.

SINCLAIR KNIGHT MERZ. (sep. 2008) Azacualpa resource review.

SINCLAIR KNIGHT MERZ. (oct. 2008) Pavana resource review..

GEOSYSTEM Srl. Milan, Italy. (2005) Acquisition and interpretation of geophysical data, Platanares, Honduras. Volume 1/1.

GEOSYSTEM Srl. Milan, Italy. (2005) Acquisition and interpretation of geophysical data, Azacualpa, Honduras. Volume 1/1.

GEOSYSTEM Srl. Milan, Italy. (2005) Acquisition and interpretation of geophysical data, Pavana, Honduras. Volume 1/1.