



UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología

**"ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL DEL
CAMPO GEOTÉRMICO LOS AZUFRES, MICHOACÁN"**

TESIS

Que para obtener el Título de

GEOLOGO

Presenta



EL SABER DE MIS HIJOS
PARA MI GRANDEZA
DEPTO. GEOLOGIA

Martín Mauricio Cons Juárez

Hermosillo, Sonora

Diciembre de 1986

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología

**"ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL DEL
CAMPO GEOTÉRMICO LOS AZUFRES, MICHOACÁN"**

TESIS



Que para obtener el Título de

EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

GEOLOGO



BIBLIOTECA
DE CIENCIAS EXACTAS
Y NATURALES

Presenta

EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA

Martín Mauricio Cons Juárez

Hermosillo, Sonora

Diciembre de 1986



COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

COORDINADORA EJECUTIVA LOS AZUFRES

MELCHOR OCAMPO 35 PTE.

TELS.: 403-52 409-44 405-99

61100 CD. HIDALGO, MICH.

SUPERINTENDENCIA DE ESTUDIOS
OFICIO No. RHE-006/86'

Agua Fria, Mich., a 17 de Julio de 1986.

DR. EFREN PEREZ SEGURA
COORD. EJEC. DEL DEPTO DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE SONORA
P R E S E N T E

Por medio del presente me dirijo a Ud. --
para proponer el tema de Tesis profesional del pasante de geólogo
C. Martín M. Cons Juárez; consistente en un "Estudio Geológico
Estructural del Campo Geotérmico de Los Azufres, Mich., Méx."

Con el fin de contribuir al desarrollo de
la geotermia en nuestro país y a solicitud del Sr. Cons Juárez,
he venido fungiendo como asesor de la tesis; y el trabajo pro-
puesto está directamente relacionado con la exploración y la eva-
luación del Campo Geotérmico de Los Azufres, Mich., donde el --
interesado se ha venido desempeñando profesionalmente a partir --
de Enero de 1985.

Se anexa el tema que ponemos a su conside-
ración.

Por las atenciones que se sirva prestar a
la presente, le doy las gracias.



SUPLENTE
DE LA COORDINADORA
LOS AZUFRES

C.C.P.-Interesado
C.C.P.-Archivo.

ATENTAMENTE

ING. RIGOBERTO HERRON ESQUIVEL
SUPERINTENDENTE DE GEOLOGIA

RHE/amp'



Departamento de Geología

Agosto 5, 1986.

ING. ROGELIO HUITRON ESQUIVEL
SUPERINTENDENTE DE GEOLOGIA
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
COORDINADORA EJECUTIVA LOS AZUFRES
MELCHOR OCAMPO 35 PTE.
CD. HIDALGO, MICHOACAN.

Por este conducto le estamos informando que este Departamento ha autorizado la elaboración de la tesis profesional del pasante de geólogo MARTIN MAURICIO CONS JUAREZ intitulada:

"ESTUDIO GEOLOGICO ESTRUCTURAL DEL CAMPO GEOTERMICO
DE LOS AZUFRES, MICHOACAN"

Quisiéramos conocer la posibilidad de contar con su presencia el día del examen profesional en calidad de sinodal invitado y asesor de tesis.

Sin otro particular, nos es grato suscribirnos a sus apreciables órdenes.

A T E N T A M E N T E
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"

ING. EFREN PEREZ SEGURA
Coordinador Ejecutivo



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
GEOLOGIA

EPS/lv

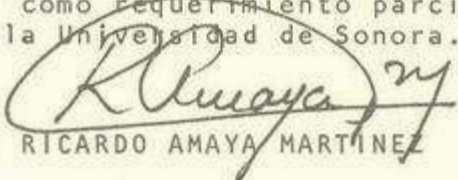


Departamento de Geología

NOMBRE DE LA TESIS: "ESTUDIO GEOLOGICO ESTRUCTURAL DEL CAMPO GEOTERMICO DE LOS AZUFRES, MICHOACAN.

NOMBRE DEL SUSTENTANTE: MARTIN MAURICIO CONS JUAREZ

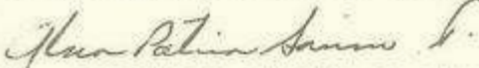
El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.


ING. RICARDO AMAYA MARTINEZ

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.


DR. THIERRY CALMUS

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.


ING. PATRICIA SAMANO DE ROSAS

A T E N T A M E N T E

ING. EFREN PEREZ SEGURA
COORDINADOR EJECUTIVO

ESA*

A MI PADRE:

ING. MAURICIO CONS DUARTE

A MI MADRE:

SRA. LOURDES JUAREZ DE CONS

A mis hermanas:

Lupita

Lourdes

Carmen Alicia

Alba

Isabel

Aurora

y

Gaby

A la Familia: DANESE CABRERA

ESTUDIO GEOLOGICO ESTRUCTURAL DEL CAMPO
GEOTERMICO DE LOS AZUFRES, MICHOACAN.

C O N T E N I D O

PAGINA

RESUMEN

CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Objetivo del trabajo	3
1.4. Metodología general del trabajo	4
1.5. Agradecimientos	5

CAPITULO II. ASPECTOS GEOGRAFICOS

II.1. Localización y Acceso	6
II.2. Clima y Vegetación	7
II.3. Fisiografía y Geomorfología	9

CAPITULO III. GEOLOGIA ✓

III.1. Tectónica	12
III.1.a. Sistemas Geotérmicos Asociados con volcanismo cuaternario	13
III.2. Geología Regional	14
III.3. Geología Estructural	16
III.4. Geología Local	17
III.4.1. Andesita microcristalina (Tma)	17

III.4.2. Riolita fluidal "Agua Fría"(Qrf)	18
III.4.3. Dacita "San Andrés" (Qdp)	18
III.4.4. Riolita Vítrea "La Yerbabuena" (Qrv)	19
III.4.5. Tobas y Arenas (Qtp-Qar)	20
III.4.6. Basaltos (Quc)	21
III.4.7. Suelos y Aluviones (Qal)	21
III.5. Descripción de Estructuras	21
a) Estructuras del Sistema antiguo NE-SW	21
b) Estructuras del Sistema intermedio E-W	22
c) Estructuras del Sistema reciente N-S	23
III.6. Minerales de alteración hidrotermal ó termominerales	24
a) Oxidos	24
b) Carbonatos	24
c) Cloritas	25
d) Epidota	26
e) Cuarzo	26
f) Pirita	27
III.7. Rasgos generales del sistema geotérmico	28
III.8. Origen del yacimiento geotérmico	29
III.9. Dimensiones conocidas del yacimiento	30

CAPITULO IV. METODOS DE EXPLORACION.

IV.1. Geológicos	31
IV.2. Geofísicos	32
IV.3. Geoquímicos	32
IV.4. Perforaciones	33

CAPITULO V. ANALISIS ESTRUCTURAL COMO UNA GUIA PARA SELECCIONAR SITIOS DE POZOS PRODUCTORES DE FLUIDOS GEOTERMICOS

V.1. Relación entre estructuras y zonas productoras	35
V.11. Resultados de la interpretación estructural apoyado con información de subsuelo	37

PAGINA

CAPITULO VI. CONCLUSIONES

38

INDICE DE PLANOS, FIGURAS Y TABLAS

39

R E F E R E N C I A S

40

R E S U M E N

El área de Los Azufres se localiza en la porción nororiental del estado de Michoacán, donde existe un yacimiento geotérmico de tipo convectivo en medio fracturado. El yacimiento se encuentra en rocas volcánicas de edad Mioceno-Plioceno que van desde andesitas, riolitas, dacitas, tobas hasta basalto. Están afectando a las rocas presentes en el área, tres sistemas diferentes de estructuras con rumbos NE-SW, E-W y N-S y echados que van de 79° a 85° . Estas estructuras sirven de conductos para la circulación de fluidos geotérmicos.

El propósito de este reporte fué el de obtener los echados promedios de las diferentes estructuras y utilizarlos para optimizar la perforación de pozos productores al alcanzar a profundidad dichas estructuras que son el objetivo de estos.



GENERALIDADES

EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
DEPTO. GEOLOGIA

1.1.- INTRODUCCION.

En nuestros días, la búsqueda de nuevas formas alternas de energía, ha llevado a diversos países a desarrollar la exploración y explotación de la energía geotérmica. México, ocupa el 4º lugar en el mundo en la generación geotermoeléctrica precedido por Estados Unidos, Filipinas e Italia; cuenta con varios campos geotérmicos en desarrollo y genera 645 MW, que están en proceso de incorporación al sistema eléctrico nacional. Los campos geotérmicos que actualmente se encuentran generando, es el de Cerro Prieto B. C. N. y el de Los Azufres, Mich.; los cuales producen 620 y 25 MW respectivamente. En este último es donde se desarrolló el tema del presente trabajo, y lo constituye una recopilación de observaciones y experiencias de campo, se evitó incluir citas bibliográficas sobre mecanismos hidrodinámicos, termodinámicos y geología, descritos en publicaciones de otros campos o en libros de texto. Las evidencias y resultados están basados en técnicas probadas, aunque existen algunos métodos empíricos logrados bajo la dirección de técnicos experimentados conocedores de la sistemática de exploración y evaluación de los campos geotérmicos mexicanos, cuya experiencia está siendo exportada y la cual forma parte de una infraestructura técnica nacional invaluable por medio de la Comisión Federal de Electricidad para beneficio del país.

El campo geotérmico de Los Azufres lo constituye un yacimiento geotérmico de los que se forman en un medio fracturado con permeabilidad secundaria. Por esta circunstancia la geología estructural es una herramienta fundamental para la exploración y expansión de este campo.

1.2. ANTECEDENTES.

En el año de 1951 se efectuó el primer estudio para evaluar la factibilidad del aprovechamiento de la energía geotérmica en varios sitios de México (L.F. de Anda 1951). Los Azufres (antes San Andrés) en el estado de Michoacán ya era uno de los sitios recomendados para realizar los trabajos necesarios de factibilidad geotérmica, así como la recomendación de perforar pozos en esta región volcánica y encontrar a profundidad el calor necesario para alimentar centrales generadoras de electricidad por este medio.

El área de Los Azufres, ha sido estudiada por varios geólogos desde aquel tiempo. Los primeros trabajos de que se tiene nota fueron de A. González, con estudios fotogeológicos. En 1975 geólogos de C.F.E. y del Instituto de Geología de la Universidad de México, realizaron estudios regionales para correlacionar geológicamente el campo con las unidades circunvecinas; con este trabajo se elabora el primer mapa geológico de la zona de interés y se recomiendan perforaciones profundas.

De 1977 a 1980, A. Garfias, Z. Casarrubias y O. Rivera, efectuaron mapas semidetallados de interés geológico-geotérmico y es hasta 1982 y 1984, que V. de La Cruz y P. Dobson respectivamente, detallan las diferentes etapas geológicas-estructurales y vulcanológicas para este campo.

R. Molina B. y A. Templos en 1976 realizan los primeros trabajos sobre geoquímica a partir de estudios en manifestaciones termales de la zona, con lo cual interpretan y concluyen que existe a profundidad un yacimiento geotérmico con posibilidades de explotarse en forma rentable.

A partir de 1975, geofísicos de exploración, realizaron estudios aplicando el método geoelectrico de resistividad específicamente con sondeos eléctricos verticales (S.E.V.) obteniendo de todos estos trabajos anomalías bien definidas susceptibles de ser comprobadas mediante la perforación profunda de pozos.

De 1976 a la fecha A. Garfias F. y otros, han realizado trabajos geo

cional del recurso geotérmico de esta región.



1.4. METODOLOGIA GENERAL DE TRABAJO.

Para la elaboración del presente trabajo, se requirió en primer lugar, la revisión de la información estructural superficial existente, así como una reinterpretación de la misma a partir de imágenes y fotografías aéreas. Se reconocieron en campo las diferentes estructuras tomándose la mayor cantidad de datos de rumbos y echados.

Se hizo una interpretación estructural de las manifestaciones termales, así como también una configuración superficial de temperaturas. Se elaboraron secciones geológicas apoyadas con la información de subsuelo mostrando echados de las estructuras.

Basicamente, éste trabajo, consistió de un análisis estadístico para obtener los echados promedios de las estructuras presentes en el área. Este análisis se efectuó de la siguiente manera:

Se hizo un levantamiento de las distancias horizontales, de los pozos a las trazas superficiales de las fallas en las cuales éstos producen. Con información de subsuelo, se obtuvieron las profundidades de intersección pozo-falla. Con estos dos parámetros y utilizando la relación trigonométrica $\text{Tangente } () = \frac{\text{Cateto opuesto (Profundidad de intersección)}}{\text{Cateto adyacente (Distancia horizontal)}}$ se obtuvo el echado particular de la falla para ese pozo. De tal manera que si una estructura tiene 3 pozos productores, el echado promedio de esa estructura, será el promedio de los tres echados particulares. La obtención de los echados promedios para todas las estructuras productoras del campo se presentan en el subcapítulo de Estructuras Productoras y en el plano de Cálculo de Echados.

lógicos que tienen como principal objetivo:

- a) La localización de sitios para perforar pozos de exploración, explotación, que alimenten las futuras centrales generadoras que serán puestas en marcha a corto plazo.
- b) Pozos de inyección para descarga de residuos geotérmicos con el fin de prevenir la contaminación al ecosistema.

Actualmente se continúa con estudios geológicos superficiales, de subsuelo y de control geohidrológico de los acuíferos alimentadores del yacimiento.

El presente trabajo forma parte de los estudios geológicos superficiales y de subsuelo como una aportación a un mejor conocimiento y control de los aspectos estructurales del campo geotérmico en cuestión.

1.3. OBJETIVO DEL TRABAJO.

Debido a que el campo geotérmico de Los Azufres, se encuentra en su etapa final de exploración e intermedia de explotación, el presente estudio trata de aportar una interpretación estructural de subsuelo basada en la información obtenida de la perforación de pozos, tales como: zonas permeables, minerales de alteración hidrotermal, zonas de cataclasis y milonitas, correlación con estructuras mapeadas superficialmente e identificadas a profundidad.

También trata de ampliar los criterios geológicos necesarios encaminados a localizar nuevos sitios favorables para la perforación de futuros pozos productores de fluidos geotérmicos.

Otro de los objetivos, es el de analizar y conocer el comportamiento de las estructuras y de las zonas productoras a profundidad en el área explotable del yacimiento, que finalmente nos conducirá a una explotación ra-

cional del recurso geotérmico de esta región.



EL SABER DE MIS NIÑOS
PARA MI GRANDEZA
DEPTO. GEOLOGÍA

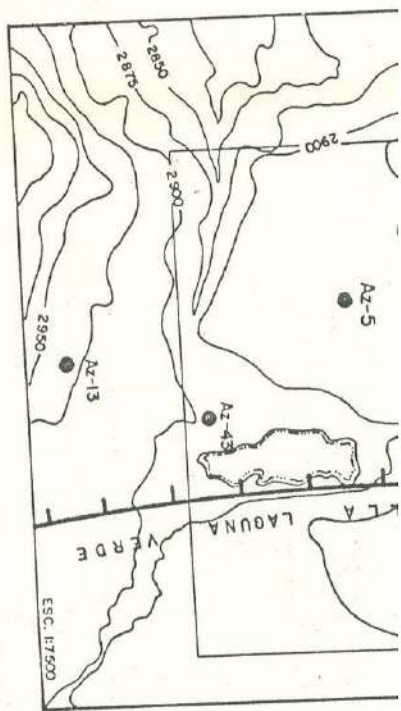
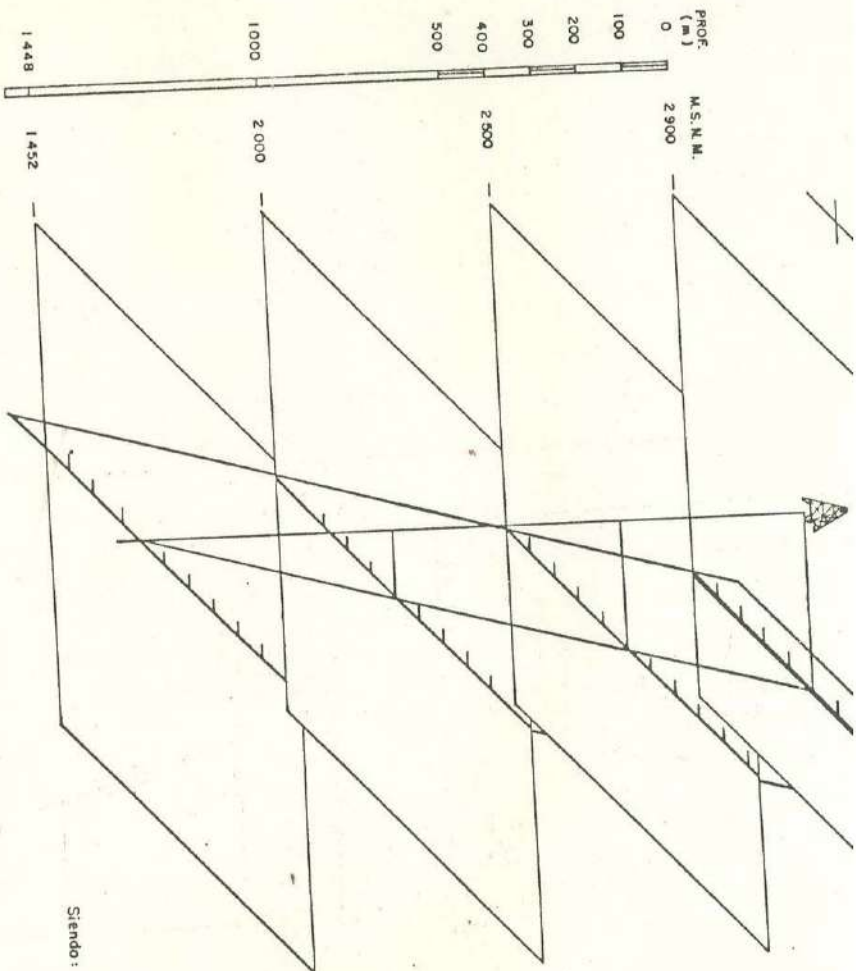
1.4. METODOLOGIA GENERAL DE TRABAJO.

Para la elaboración del presente trabajo, se requirió en primer lugar, la revisión de la información estructural superficial existente, así como una reinterpretación de la misma a partir de imágenes y fotografías aéreas. Se reconocieron en campo las diferentes estructuras tomándose la mayor cantidad de datos de rumbos y echados.

Se hizo una interpretación estructural de las manifestaciones termales, así como también una configuración superficial de temperaturas. Se elaboraron secciones geológicas apoyadas con la información de subsuelo mostrando echados de las estructuras.

Basicamente, éste trabajo, consistió de un análisis estadístico para obtener los echados promedios de las estructuras presentes en el área. Este análisis se efectuó de la siguiente manera:

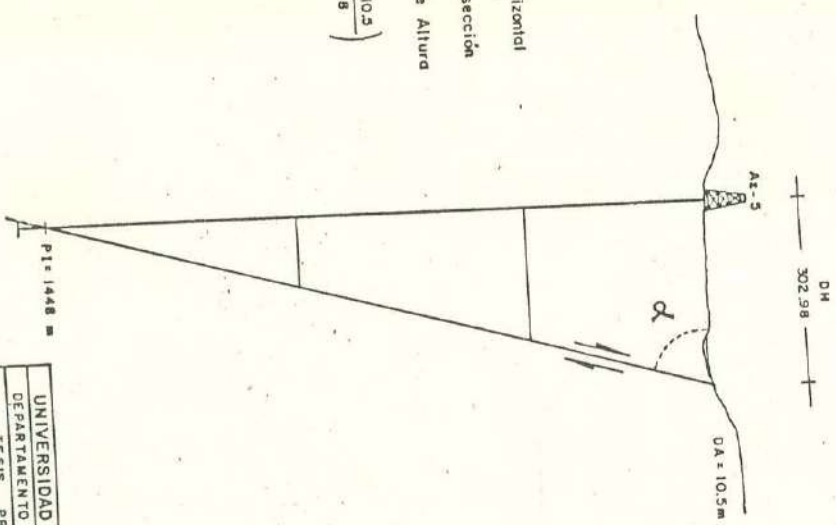
Se hizo un levantamiento de las distancias horizontales, de los pozos a las trazas superficiales de las fallas en las cuales éstos producen. Con información de subsuelo, se obtubieron las profundidades de intersección pozo-falla. Con estos dos parámetros y utilizando la relación trigonométrica $\text{Tangente } () = \frac{\text{Cateto opuesto (Profundidad de intersección)}}{\text{Cateto adyacente (Distancia horizontal)}}$ se obtuvo el echado particular de la falla para ese pozo. De tal manera que si una estructura tiene 3 pozos productores, el echado promedio de esa estructura, será el promedio de los tres echados particulares. La obtención de los echados promedios para todas las estructuras productoras del campo se presentan en el subcapítulo de Estructuras Productoras y en el plano de Cálculo de Echados.



Siendo: DH Distancia Horizontal
 PI Prof. de Intersección
 DA Diferencia de Altura

$$\alpha = \text{Arc TAN} \left(\frac{1448 + 10.5}{302.98} \right)$$

$$\alpha = 78.26^\circ$$



FALLA LAGUNA VERDE	
POZOS	ECHADO
AZ-5	78.26°
AZ-43	81.99°
AZ-13	80.75°

ECHADO PROMEDIO 80.33°

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera muy especial a los Ingenieros Rogelio Huitrón E., Alfredo Garfías F. y Miguel Rangel M. por su valioso asesoramiento.

Gracias al Ing. Ramón Reyes S. por las facilidades concedidas para la realización de este trabajo dentro de la Coordinadora Ejecutiva Los Azufres, C. F. E. y al personal de la Superintendencia de Geología de la misma.

Un agradecimiento al personal docente del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, por sus atenciones, ayuda y sugerencias. A la Geóloga Lupita Yeomans Otero que pacientemente mecanografió este trabajo.

Y en general, muchas gracias a todas las personas que de una manera u otra influyeron en la realización de mi Tesis.

CAPITULO II.

ASPECTOS GEOGRAFICOS.

II.1. LOCALIZACION Y ACCESO.

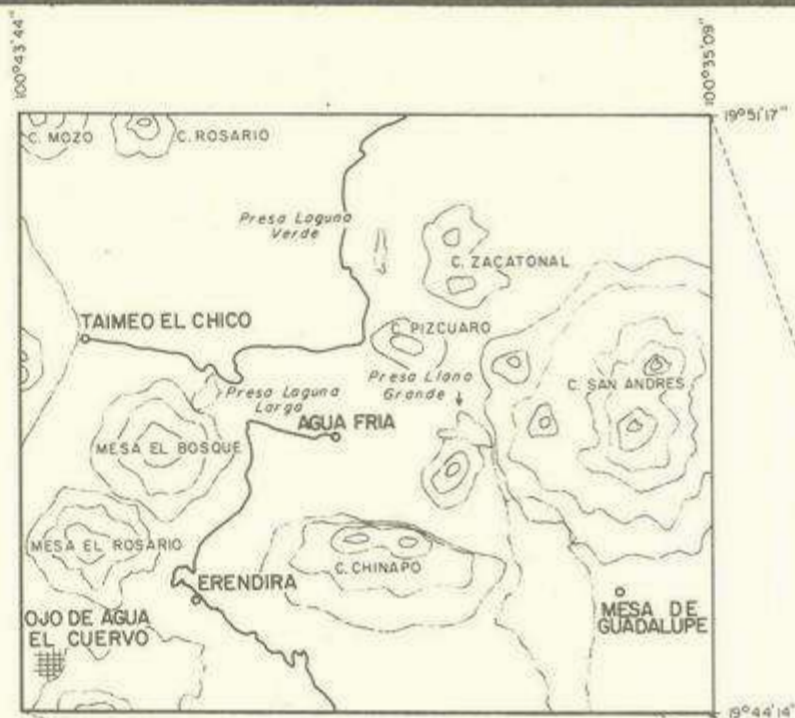
LOCALIZACION DEL AREA.

El área de estudio se encuentra localizada en la porción nororiental del Estado de Michoacán; entre los paralelos $19^{\circ}42'$ y $19^{\circ}50'$ de latitud norte y los meridianos $100^{\circ}33'$ y $100^{\circ}45'$ de longitud al oeste de Greenwich.

El área de Los Azufres, está situada en el límite de los municipios de Jeráhuaro y San Pedro Jacuaro, en una región montañosa con numerosos lagos intermontanos entre los que destaca el Lago Cuitzeo, aproximadamente a 50 Km. al noreste, segundo en extensión en la República Mexicana. Otros lagos de importancia en la región son: el de Yuriria y Pátzcuaro, cuyos usos principales son recreación y pesca; actividades de las que depende económicamente gran parte de la población. De igual manera las evidencias superficiales de flujo térmico, tales como: geiseres, manantiales calientes y solfataras están intimamente relacionados con el desarrollo económico de la región, ya que son frecuentemente visitados los balnearios turísticos del Estado.

VIAS DE ACCESO.

El área del presente trabajo se encuentra comunicado por las carreteras: Federal no. 15 y por la Federal no. 126 México-Morelia vía Maravatío; La primera pasa por el extremo sur y une a Cd. Hidalgo con Morelia, capital del Estado de Michoacán, y se le conoce como carretera Internacional 15 México-Nogales. La segunda cruza el campo en el extremo norte, corre de o riente-poniente y en el tramo comprendido entre Maravatío-Morelia, existe



UNIVERSIDAD DE SONORA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

TESIS PROFESIONAL

PLANO DE LOCALIZACION

CAMPO GEOTERMICO LOS AZUFRES

AGOSTO 1986 MARTIN M. CONS J.

una desviación a la izquierda, ésta es una carretera estatal pavimentada que entronca con las anteriormente mencionadas; esta carretera une los poblados de San Pedro Jacuaro y Jeráhuaro corriendo de sur a norte pasando por la parte central del área.

Dentro del campo existe un helipuerto para uso de la Comisión Federal de Electricidad. La ciudad de Morelia cuenta con aeropuerto comercial y dista 100 Km. al oeste del campo.

II.2. CLIMA Y VEGETACION.

CLIMA.

El clima en el área de estudio (2875 m.s.n.m.), es del tipo semiseco. De acuerdo con la clasificación de Koopen corresponde con la clave BSKWA, que pertenece a un clima extremoso, con lluvias abundantes en su época. En primavera, se tiene un clima seco y en invierno frío y benigno. El régimen de lluvias es de verano, la precipitación pluvial media anual es de 891.5 mm. teniendo lluvias de Junio a Septiembre y de manera irregular y esporádica hasta Diciembre. La temperatura máxima registrada es de 35°C y la mínima de 10°C. La temperatura media exterior registrada es de 13°C.

Las temperaturas más elevadas se presentan durante los meses de Mayo, Junio y Julio y descienden en los meses posteriores, registrando las temperaturas más bajas en el mes de Enero, debido a la presencia de hielo y nieve.

VEGETACION.

Se distinguen tres tipos de vegetación, en su mayoría coníferas y son las siguientes: Bosque de oyamel, bosque de oyamel-pino y bosque de pino-encino. Por las observaciones hechas en el campo, la zona está muy perturbada en algunas áreas por la tala excesiva y clandestina.

Se puede decir, en términos generales, que la vegetación se encuentra en un estado de sucesión secundaria, tanto por la presencia de un gran número de plántulas, como por la ausencia de musgos y por la proliferación de especies correspondientes a variedades arbustivas y herbáceas.

Las diferentes especies que existen, se presentan en tres estratos de finidos por altitud.

a) Estrato arboreo.- Representado por:

Oyamel o abeto; Abies religiosa

Pinos; Pinus leiophila

Pinusseudostrobus

Pinusmichoacana

b) Estrato arbustivo.- Representado por:

Acacia elongata

Arracacea purpurea

Senecio angulipolus

c) Estrato herbáceo.- Constituido principalmente por:

Crysantellum mexicanum

Geranium sp.

Ranunculus petiolaria

En cuanto a vegetación acuática, se pueden identificar los generos:

Potamogetón

Minulus

Polygo nun.

Juncus

Nasturtium (berro)

En las cercanías de las manifestaciones geotérmicas se desarrollan helechos y crassuláceas influenciadas por el calor que desprenden dichas manifestaciones creando un microclima. Pudiéndose utilizar estas plantas como un trazador o indicador biogeoquímico para identificar zonas anómalas de altas temperaturas superficiales.

II.3. FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA.

FISIOGRAFIA.

El campo geotérmico de " Los Azufres " forma parte de la provincia fisiográfica llamada "Eje Neovolcánico Transmexicano" (Mooser 1967), que se extiende desde el estado de Veracruz hasta el estado de Nayarit, con orientación ESE-WNW. Esta provincia, es una cadena montañosa compuesta por un gran número de volcanes algunos actualmente activos, otros extintos y otros erosionados, que cubrieron cuencas rellenas por depósitos lacustres o productos de origen explosivo. También se encuentran los puntos de mayor altitud de México (Pico de Orizaba 5 747 m.s.n.m.) y Popocatépetl 5452 m.s.n.m.).

El área de estudio, forma parte de la Sierra de San Andrés que orográficamente corresponde a las cadenas frontales que limitan por la parte sur a la mesa de Anahuac ó altiplano Mexicano.

GEOMORFOLOGIA.

a) Geomorfológicamente toda el área de estudio corresponde a un conjunto de promotorios agrupados entre sí, que dan la forma de un macizo montañoso con elevaciones de 2,800 m.s.n.m. en cañadas y hasta 3,500 m.s.n.m. en las cimas.

Las mayores prominencias orográficas de la región donde se ubica el área de estudio son: Cerro " San Andrés " (3450 m.), Cerro " Pitzcuaro " (3225 m.), Cerro " Mozo " (3300 m.), Cerro " El Gallo " (3050 m.), Cerro " El Chinapo " (3100 m.), y el Cerro "Las Humaredas" (3000 m.). Estas elevaciones consisten principalmente de derrames de dacitas y riolitas, discordantemente existen derrames de riolita en forma cómica sobre éstas. Dichas elevaciones se encuentran alineadas y separadas por cañadas y valles intermontanos que representan las estructuras formadas en los eventos tectónicos

acaecidos en diferentes períodos geológicos.

El relieve originado por el vulcanismo silícico cuaternario se puede identificar por las pendientes suaves de las coladas, formas redondeadas de los domos riolíticos y volcanes cineríticos de fuertes pendientes. Geomorfológicamente se le puede ubicar a la región en la etapa de madurez temprana.

b) HIDROGRAFIA. Los patrones de drenaje que se presentan en el área de estudio son del tipo dendrítico a rectangular, cuyo curso está gobernado por las fallas y fracturas. En determinadas áreas, el drenaje es centrípeto, centrífugo y anular, controlados por estructuras volcánicas tales como: domos, conos y cráteres.

Entre los principales arroyos en la zona sur, se encuentran, Tejamani y Los Ajolotes, que confluyen al arroyo principal llamado San Pedro, el cual atraviesa el área de norte a sur y cuyo curso está controlado por la falla " El Viejón " hasta llegar al balneario Eréndira, lugar donde se le une un arroyo de igual nombre, siguiendo su curso hacia el sur pasando por el poblado de San Pedro Jacuáro y finalmente desemboca en el río Taximaróa ó Tuxpan que representa el nivel base de erosión y cuyo régimen de escurrimiento es perenne. Este se interna al sureste de la Sierra de Michoacán hasta llegar al río Cutzamala, del cual es afluente y que a su vez, confluye con el río Balsas en las inmediaciones de Huetamo, para proseguir su curso hasta el Oceano Pacífico.

En la parte norte del campo, los principales arroyos son " Agua Fría ", "San Alejo" y "Los Lobos", los cuales descargan a la presa Laguna Larga; agua abajo de la descarga de esta presa (vertedor), por la margen derecha, recibe aportación de arroyo "El Chino", en esta primera parte se conoce con el nombre de Arroyo Laguna Larga; sigue un curso sureste-noroeste, aguas abajo de Taiméo el Chico, toma el nombre de Santa Teresa, hasta recibir la aportación del Río Agrío por su margen derecha, a partir de donde recibe el nombre de Río Zinapécuaro, hasta confluir con el Río Santa Clara al borde de la planicie, de donde es canalizado hacia la Presa Malpaís.

Cabe mencionar que el área de estudio, está enclavada en el partea-
guas entre la cuenca del Lago de Cuitzeo hacia el norte; la subcuenca del
Medio Balsas hacia el sur y la subcuenca del Alto Lerma hacia el noreste.

CAPITULO III.

G E O L O G I A .



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
DEPTO. GEOLOGIA

III.1. TECTONICA.

La tectónica del Eje Neovolcánico Transmexicano, se encuentra íntimamente relacionada con la evolución geodinámica de las placas de Cocos, Norteamericana y del Caribe, influenciada por la presencia de la dorsal del Pacífico Oriental. Los movimientos relativos entre las tres placas, han dado como resultado, entre otros fenómenos la formación de una zona de subducción sobre la margen pacífica de América, conocida como Fosa de América Central (Mid-American Trench) o Trinchera de Acapulco, la cual no presenta un paralelismo entre ésta y el cinturón volcánico (eje Neovolcánico) consecuente.

Las estructuras que se observan a nivel regional, han sido formadas por diferentes eventos tectónicos, que han afectado el área del campo geotérmico. Estos eventos, inician en el Mioceno con movimientos tectónicos compresivos, debidos al choque entre las placas Pacífica y Norteamericana. Esto provocó plegamientos, entre los que se encuentra el anticlinal de Patámbaro.

Posteriormente se inició una etapa distensiva, la cual dió lugar a la formación de sistemas de fracturas conjugadas, con orientación NE-SW y NW-SE. En esta etapa se formaron fosas y saltos estructurales tipo horst y graben, entre los que se encuentran las depresiones tectónicas de Cuitzeo y Maravatío, y los macizos de Los Azufres y Huaniqueo.

Debido a la existencia de movimientos transcurrentes entre dos bloques, durante el Plioceno y parte del Cuaternario, se desarrolló una franja de fractu

ramiento que se extiende este-oeste, en la cual existe gran cantidad de fallas normales con orientación ENE-WSW y con echados hacia el norte. Estas se observan en los márgenes del Lago de Cuitzeo. Como resultado final de dicha transcurrancia se forman fallas con orientación E-W, como se observan en la Sierra de San Andrés (Los Azufres).

III.1.a. SISTEMAS GEOTERMICOS ASOCIADOS CON VOLCANISMO CUATERNARIO.

Los recursos geotérmicos que pueden ser utilizados directamente para generación de energía eléctrica mediante tecnología convencional son los llamados " Agua de alta entalpía " (high enthalpy water), con temperaturas mayores de 180°C. La máxima profundidad de estos reservorios son del orden de 3,000 mts. (Los geysers U. S. A.). En el presente la mayoría de los campos geotérmicos que se vienen desarrollando, están estrechamente relacionados con zonas volcánicas del Cenozoico, especialmente con el Cuaternario.

Las zonas volcánicas cuaternarias están generalmente distribuidas a lo largo de zonas orogénicas del Cenozoico en todo el mundo, donde ocurrieron intensos plegamientos y/o fallamientos a partir del Terciario, frecuentemente acompañados por actividad volcánica. Estas zonas orogénicas coinciden con zonas sísmicas activas; específicamente la zona sísmica circum-Pacífica.

La mayoría de los campos geotérmicos existentes están distribuidos a lo largo de estas zonas orogénicas.

El yacimiento geotérmico de Los Azufres, se enmarca bajo todos estos contextos, por lo cual constituye un yacimiento geotérmico asociado con volcanismo cuaternario.

De los principales campos geotérmicos de este tipo en el mundo se tie-

nen los siguientes:

- Campo geotérmico Otake, en el Distrito Volcánico de Kujuu, Japón.
- Campo geotérmico Wairakei, Nueva Zelanda
- Campo geotérmico de Zunil y Amatitlán, Guatemala.
- Campo geotérmico Ahuachapán, El Salvador.
- Campo geotérmico Momotombo, Nicaragua.
- Muchos de los campos geotérmicos relacionados con la cordillera de los Andes en Sudamérica.



EL SABER DE MIS NIJOS
HARA MI GRANDEZA
DEPTO. GEOLOGIA

III.2. GEOLOGIA REGIONAL.

Tomando como base la información existente en trabajos realizados por la Comisión Federal de Electricidad y otras instituciones, se presenta a continuación una breve descripción cronológica de las unidades litológicas que afloran en los alrededores del área de estudio del presente trabajo:

Las rocas más antiguas de la región, forman parte del complejo metamórfico constituido por rocas esquistosas, facie esquistos verdes, con una tendencia bien marcada de foliación e intercalaciones calcáreas en forma de pliegues complejos propios de niveles estructurales inferiores. Esta unidad constituye el basamento regional del área, a la cual (Campa, M.F. 1978) le asigna una edad del Cretácico inferior. Los afloramientos de esta unidad se observan en el distrito minero del Oro -Tlalpujahua, y localidades de Aporo, Senguio, Tuxpan y Zitácuaro entre otros, al sur y sureste del área de estudio.

Sobreyaciendo discordantemente a estas rocas metamórficas (No se ha observado hasta la fecha el contacto en algún punto estratigráfico) se encuentra una alternancia de lutitas y areniscas que forman el anticlinal de Patámbaro, representado por un pliegue de gran magnitud ligeramente asimé-

trico (con pendiente más fuerte hacia la parte occidental); tiene una orientación NW 30° SE y cuyo eje, puede seguirse por más de 100 km., desde Tzitzio hasta Huetamo dentro del Estado de Michoacán. En el núcleo de esta estructura, se observan lutitas (Facies Flysch) de probable edad Cretácico superior, afectadas por cierta esquistosidad. Suprayaciendo a las lutitas de observan sedimentos de tipo molasse continental, resultando de la erosión de los relieves formados por la fase laramílica en el Terciario temprano. A estos sedimentos, se les atribuye una edad Eoceno, Oligoceno inferior, y pertenecen al grupo Balsas, que en su base está constituido por areniscas conglomeráticas de color rojizo y en la cima, por areniscas y lutitas interestratificadas (conocido formalmente como Conglomerado Balsas). Ver tabla de correlación estratigráfica.

Sobreyaciendo en forma discordante, a la formación antes descrita, se encuentra un complejo volcánico formado por brechas, tobas y derrames andesíticos de edad Oligoceno superior-Mioceno inferior, los cuales en algunos puntos, se presentan como aglomerado volcánico muy alterado.

Al norte de la Laguna de Cuitzeo y al suroeste de Acámbaro, se encuentra un cuerpo intrusivo de composición diorítica cuyo origen, forma y edad están en proceso de identificación, y que afecta a las rocas andesíticas antes descritas. Este no es muy extenso en superficie y es el único de su género que aflora en las cercanías del área que nos ocupa. (100 Km. de distancia).

Posteriormente una sucesión de derrames, cuya composición varía de andesita relativamente básica con piroxeno y olivino hasta dacita, constituye lo que se ha considerado como el basamento del complejo volcánico de Los Azufres, con una edad radiométrica del Mioceno superior-principios del Plioceno.

La actividad volcánica del Plioceno al Cuaternario, está registrada por rocas de características petrográficas bien definidas, entre los que se encuentran depósitos de derrames piroclásticos ácidos, lavas andesíticas, do-

TABLA REGIONAL DE CORRELACION ESTRATIGRAFICA

ERA		PERIODO		EPOCA		EDAD		REGION DE		REGION DE		REGION DE		REGION DE		REGION DE	
								TZITZIO-HUETANO		MORELIA		LOS AZUFRES		MARAVATIO		CUITZEO	
								MICHOACAN		MICHOACAN		MICHOACAN		MICHOACAN		MICHOACAN	
								(1) (3)		(2) (3)		(3)		(2) (3)		(3)	
								ALUVION		ALUVION		SUELOS Y ALUVIONES		NIVELES DE		ALUVION	
								ALUVION		Y LACUSTRES		BASALTOS		POMES		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA LA		DEPOSITOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		VERBABUENA		LACUSTRES		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		DACITA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		S. ANDRES		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS		ALUVION	
								ALUVION		BASALTO		RIOLITA A. FRIA		BASALTOS			

(1) PANTOJA A. (1950) (2) A. DEMANT R. MAUDUIS; L. SILVA MORA (1975) (3) C.E. (1984)

EROSION O NO DEPOSITO

WWW DISCORDANCIA

CONTACTO NO OBSERVADO DEBIDO QUIZA A EROSION

mos riolíticos y dacíticos, derrames basálticos asociados con conos de escoria así como depósitos vulcanosedimentarios, suelos y aluviones.

III.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

Este subcapítulo, forma la parte medular de este trabajo y se trata ampliamente en capítulos posteriores, específicamente en el capítulo III.5. que habla sobre la descripción de estructuras.

En el capítulo V, se analiza la relación estructural con la producción de vapor.

En sí, la conducción de fluidos geotérmicos en yacimientos en medio fracturado está ligado en forma estrecha al aspecto estructural, como es el caso de Los Azufres. Es por ésto que un buen control estructural del campo, es la mejor herramienta que se puede manejar para lograr un mayor número de pozos productores a corto plazo una vez que se cuente con dicho control.

Este estudio, formó parte de los trabajos estructurales necesarios, para maximizar el número de pozos productores y optimizar la profundidad de los mismos al alcanzar su objetivo, reduciendo con ésto, los costos de perforación y el número de pozos fallidos.

Actualmente en el campo geotérmico de Los Azufres, se perforan alrededor de 3 pozos por año, y en los tres últimos, debido a un buen control estructural que se ha llevado hasta la fecha, no se a tenido ningún pozo fallido.

III.4. GEOLOGIA LOCAL.

En el campo geotérmico de Los Azufres, Mich., están expuestas rocas calcoalcalinas de composición básica hasta ácida cuya edad varía del Mioceno-Plioceno al Pleistoceno-Reciente, (Patrick Dobson, 1984), presentandose también espesores significativos de suelo y aluvión.

El marco litológico de este centro volcánico, se encuentra representado por diferentes rocas ígneas extrusivas que a continuación se describen partiendo de las más antiguas hasta las más recientes. Ver plano geológico - del anexo.

"ANDESITA MICROCRISTALINA" (Tma).

Es la unidad litológica más antigua que se conoce dentro de los límites del campo geotérmico, considerada como el basamento local, constituido por flujos eminentemente andesíticos, con escasos depósitos piroclásticos intercalados, basaltos, andesita porfídica y lavas dacíticas. Se encuentra ampliamente distribuida en los extremos norte y sur. Estas rocas forman grandes masas de roca irregulares, afloramientos que se pueden considerar como típicos en el extremo sur sobre el camino de acceso a la altura del balneario Eréndira; al norte aflora en todo el flanco norte de la sierra de Los Azufres.

Estos derrames lávicos de andesita presentan zonas aglomeráticas, brechoides y de lajamiento. Megascópicamente se presenta compacta en color gris oscuro, textura afanítica, fractura concoidea. En algunos afloramientos presenta vesicularidad y amigdalas con residuos de carbonatos.

A las rocas de esta unidad se les ha asignado una edad del Mioceno-Plioceno ya que en muestras de superficie y subsuelo datadas por radiometría arrojan edades de 10.2 ± 0.6 MA., para muestras de subsuelo a 2700 m. de profundidad; y en muestras de superficie en método K-Ar arrojó 1.0 ± 0.2 MA. lo cual representa edades para la base y la cima de esta unidad.

"RIOLITA FLUIDAL, AGUA FRÍA" (Qrf)

Se define como el cuerpo silíceo más antiguo que aflora en la región de Los Azufres. Descansa en forma discordante sobre la unidad anterior; está representada por domos de lava y flujos fragmentados de riolita. Se le observan huellas de dirección de flujo con lentes de obsidiana y esferulas. Se ha considerado como afloramiento típico de esta unidad a los cuerpos de riolita que afloran en el camino de acceso al campamento Agua Fría, y los expuestos dentro del campamento, encontrándose ampliamente distribuida en la porción septentrional y sureste del campo geotérmico.

La unidad Agua Fría, consta de dos miembros; uno inferior o riolítico fluidal y otro superior o toba brechoide ácida. La mineralogía de las rocas de la base presenta fenocristales de plagioclasa, sanidina, cuarzo, biotita y óxidos de Fe y Ti, así como hornblenda y ortopiroxeno. La toba brechoide ácida presenta fragmentos de vidrio, riolita, traquiandesita, cuarzo, y restos de feldespato alterado a minerales arcillosos (caolín), y fragmentos de andesita microlítica.

Las rocas constituyentes de esta unidad se observan en el campo, de color gris rosado, compacta, con textura fluidal, esferulítica, y en ocasiones perlítica.

La edad de estas rocas fué definida a partir de muestras de obsidiana no hidratadas a las cuales se les aplicó el método K-Ar, obteniendo edades de 0.84 ± 0.02 MA. y 1.03 ± 0.02 MA. correspondientes a la base del Cuaternario (Pleistoceno).

"DACITA SAN ANDRÉS" (Qdp).

Al siguiente proceso eruptivo se le conoce como dacita "San Andrés" y se puede definir por las rocas que afloran en el extremo oriental del campo; se muestran inalteradas, compactas, de colores gris a verdoso de textura porfídica, superficialmente presenta oquedades por la disolución

de algunos fenocristales e inclusiones de fragmentos de roca microcristalina.

La distribución de esta unidad es a lo largo de toda la porción oriental del campo, se puede considerar como localidad típica al Cerro de "San Andrés" del cual tomó el nombre.

La litología de la dacita "San Andrés", está integrada por dacitas con fenocristales de plagioclasa (aprox. 1 cm.), hornblenda, clinopiroxeno y escasa biotita y cuarzo, también presenta óxidos de Fe y Ti. Son comunes las inclusiones afaníticas de color gris-rojizo, con tamaños mayores de 4 cm. de diámetro y se puede tratar de una andesita alterada proveniente del basamento. Estas rocas presentan superficialmente bandas de flujo, cubriendo discordantemente a las riolitas de Agua Fría, y a las andesitas microlíticas del basamento local. Las lavas dacíticas "San Andrés" forman grandes afloramientos complejos con desniveles hasta de 700 m.

Se le asigna a esta unidad una edad del Pleistoceno medio debido a que las dataciones por K-Ar practicadas a las plagioclasas de estas rocas dan resultados de 0.33 ± 0.07 MA, concordando con orientaciones normales paleomagnéticas realizadas en el campo geotérmico.

"RIOLITA VITREA, LA YERBABUENA" (Qrv).

Las riolitas vitreas de la Yerbabuena forman el grupo de rocas extrusivas más jóvenes del volcanismo silíceo cuaternario. Estas rocas se encuentran expuestas en el extremo occidental del campo donde afloran extensamente en forma de domos circulares poco alterados, se ha considerado como afloramiento típico al "Cerro de La Yerbabuena" localizado en el extremo poniente de la región.

Litológicamente esta unidad la forman dos miembros, el inferior integrado por las riolitas vítreas y el superior constituido por tobas pumicíticas; las primeras son de color ligeramente gris con un 5 a 15% de fenocristales de plagioclasa, cuarzo, sanidina, biotita, ortopiroxeno, óxidos de fie-

ro y titanio y en menor proporción la hornblenda. La matriz es pumicítica vidriada.

Los domos pertenecientes a la riolita vítrea La Yerbabuena presentan en sus alrededores y en el centro, cuerpos asociados con caída de aire, los cuales han sido retrabajados.

Muestras datadas por K-Ar del domo "El Carpintero" arrojan una edad de 0.14 ± 0.02 MA.; en tanto que muestras del domo Mesa del Bosque y Mesa El Rosario, datadas a partir de separaciones de biotitas, registran 0.15 ± 0.05 MA. y 0.30 ± 0.07 MA. respectivamente.

"TOBAS Y ARENAS" (Qtp-Qar).

Se definen como todos los materiales sueltos a poco litificados que existen dentro del área, pudiendo diferenciarse tres tipos de materiales agrupados en una sola unidad por lo difícil de cartografiarlos por separado.

Material tobaceo-conglomerático.- Constituido por fragmentos de riolita fluidal, pómez y obsidiana; resultando los tamaños prominentes, y en menor proporción fragmentos de andesita, afloran entre San Pedro Jacuaro y Los Baños Eréndira en el extremo sur del área.

Tobas arenosas.- De posible origen explosivo, constituidas por cristales de cuarzo, fragmentos de pómez, vidrio, plagioclasas y ceniza volcánica, presentan seudoestratificación, en ocasiones presentan evidencias de retrabajo, material muy deleznable y no tienen compactación. Afloran en la porción centro-occidental del campo de Los Azufres.

Al tercer tipo de material corresponde el más fino, constituido por sílice, materia orgánica y azufre, presentando coloraciones gris claro y amarillento con seudoestratificación. En las inmediaciones de las manifestaciones termaleas se depositó un material con aspecto tobáceo, en un medio acuoso presentando granulometría variable desde toba arenosa hasta brechoide.

"BASALTOS" (Qvc)

Estas rocas de edad cuaternaria se presentan en las inmediaciones del campo en los extremos norte y oriental, en forma de coladas y/o de conos cineríticos asociados y escoriaceos compuestos por basaltos que incluyen desde ceniza, arena hasta bombas volcánicas.

"SUELOS Y ALUVIONES" (Qal).

Estos materiales se han formado en todo el campo geotérmico; se presentan en capas delgadas que cubren y enmascaran a las unidades de roca de la columna litológica de la región, estos suelos y aluviones tienen su origen en los productos de alteración de las rocas preexistentes y descomposición de la materia orgánica, encontrándose con mayor espesor en las depresiones y valles intermontanos.



III.5. DESCRIPCION DE ESTRUCTURAS.

EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
DEPTO. GEOLOGIA

a). ESTRUCTURAS DEL SISTEMA ANTIGUO NE-SW.

Estas estructuras, solo afectan a las rocas basales Mio-Pliocénicas (andesitas de la unidad Mil Cumbres), pertenecen a este sistema, las fallas; El Viejón, El Vampiro y Agua Ceniza en la zona sur y la Nopalito en la zona norte.

Las características de cada una de las estructuras se sintetizan en la tabla siguiente:

ESTRUCTURA	RUMBO PROMEDIO	ECHADO PROMEDIO	LONGITUD KM.	POZOS PRODUCTORES
El Vampiro	NE48°SW	82°NW	2.2	-
El Viejón	NE45°SW	82°NW	3.7	-
Agua Ceniza	NE30°SW	-	2.4	-
Nopalito	NE57°SW	83.5°SE	2.0	-

b). ESTRUCTURAS DEL SISTEMA INTERMEDIO E-W.

Las estructuras pertenecientes a este sistema son: en la zona sur; las fallas El Chinapo, Azufres, Tejamaniles, Puenteillas, Agua Fría, y San Alejo. En la zona norte: Las fallas Laguna Larga, El Chino, La Cumbre, Marítaro y Los Coyotes.

Estas estructuras han sido de relevante importancia para el desarrollo del campo geotérmico en cuanto a su producción, ya que hasta la fecha son en estas estructuras donde se tiene la mayor cantidad de pozos perforados.

Es en este sistema de fallas, en cuyas trazas superficiales se presentan la mayoría de las manifestaciones termales, lo cual significa que son conductoras de fluidos geotérmicos con alta potencialidad de producción. También son las de mayor longitud (hasta 10 Km.), y están afectando a todas las unidades litológicas locales, a excepción de los domos riolíticos de la unidad Yerbabuena (al oeste del área) y sus tobas asociadas. En la tabla siguiente se muestran las características particulares de las estructuras pertenecientes a este sistema:

ESTRUCTURA	RUMBO PROMEDIO	ECHADO PROMEDIO	LONGITUD	POZOS PRODUCTORES
Azufres	E-W	81.3° N	2.5	2(Az-6, Az-26)
Tejamaniles	E-W	81° N	3.2	2(Az-46, Az-33)

Continua. . . .

ESTRUCTURA	RUMBO PROMEDIO	ECHADO PROMEDIO	LONGITUD	POZOS PRODUCTORES
Puentecillas	E-W	85° N	4.0	6(Az-37, Az-17, Az-36, Az-38, Az-34. Az-18)
Agua Fría	E-W	82.3° N	7.8	2(Az-22, Az-35)
San Alejo	E-W	83° S	3.0	-
Laguna Larga	E-W	--- S	6.2	-
El Chino	E-W	80° S	6.0	1(Az-9)
La Cumbre	E-W	82° N	4.3	3(Az-4, Az-28, Az-32)
Maritaro	E-W	82° N	10.8	1(Az-19)

c). ESTRUCTURAS DEL SISTEMA RECIENTE N-S.

Las estructuras de este sistema fueron las últimas que afectaron al área de estudio y son consecuencia de la reactivación del sistema antiguo en una etapa de inestabilidad tectónica en la cual existió un reacomodo y asentamiento de bloques. Dichas estructuras están afectando a toda la columna litológica.

Poseen un rumbo general N-S y en la intersección con las del sistema E-W, forman un entrampamiento estructural por el que ascienden los fluidos hidrotermales y en algunos puntos en superficie forman manifestaciones termales. Son fallas de este sistema: Laguna Verde, La Presa y Río Agrío. La más importante de las tres, es la primera ya que alimenta tres pozos productores (Az-43, Az-5 y Az-13), y que en superficie presenta una manifestación termal bastante importante (Laguna Verde), de donde toma su nombre.

Las otras dos, aunque también presentan manifestaciones en superficie, aún no se les ha desarrollado para su explotación.

En la siguiente tabla se muestran las características principales:

ESTRUCTURA	RUMBO PROMEDIO	ECHADO PROMEDIO	LONGITUD Km.	POZOS PRODUCTORES
L. Verde	NW14°SE	80.33°SW	10.0	(Az-5, Az-13, Az-43)
La Presa	NW15°SE	-	8.0	
Río Agrio	NW30°SE	-	2.2	

III. 6 MINERALES DE ALTERACION HIDROTHERMAL. O TERMOMINERALES.

Las rocas alteradas que se presentan a profundidad en el campo geotérmico de Los Azufres, difícilmente se les puede reconocer la mineralogía primaria, ya que ésta se encuentra enmascarada por minerales secundarios o de alteración. Estos minerales y principalmente sus asociaciones, son guías que proporcionan información sobre los diferentes procesos hidrotermales a que han estado sometidas las rocas, también se les ha denominado termominerales o geotermómetros.

A continuación se describen por separado dichos minerales:

a).- OXIDOS. Los óxidos indican con su presencia, alteración en condiciones de oxidación y de baja temperatura, debido al intemperismo y al paso de corrientes de agua fría. Los principales minerales son la hematita, que se forma rápidamente bajo estas condiciones pero con cualquier incremento significativo en la temperatura, se altera a magnetita. Un enfriamiento posterior, con un flujo continuo de agua, alteraría la magnetita a maghemita. Se puede concluir que la presencia de cualquier horizonte rico en hematita, implica que las condiciones que han prevalecido por algún tiempo corresponden a un ambiente de enfriamiento y que es bastante improbable encontrar fluidos geotérmicos calientes.

b).- CARBONATOS. El carbonato principal que se presenta en el área es el calcio en su forma mineral de calcita. Las formas microscópicas en las que se presenta son muy variables: rellenando cavidades en vetillas

o reemplazando ferromagnesianos. La calcita es un mineral cuya solubilidad se incrementa a medida que desciende la temperatura, por ello la presencia de este mineral en el sistema geotérmico se asocia con la entrada de aguas frías ricas en carbonatos, en las zonas más calientes del sistema, la calcita puede precipitar, ya que su solubilidad desciende. En otros sistemas geotérmicos, se ha establecido que la temperatura a la que la calcita empieza a cristalizar está entre 50° y 120°C y que su disolución posterior se inicia entre 250° y 290°C (campo geotérmico Cerro Prieto B.C.), sin embargo un escape de CO₂ a través de fisuras abiertas y por lo tanto, la consiguiente pérdida de presión, puede hacer que baje más la temperatura a la cual la calcita es redisuelta, formándose entonces silicatos de calcio.

La presencia de la calcita en el campo Los Azufres, se toma como indicativo de zonas de recarga al sistema geotérmico; su desaparición, a mayor temperatura, se considera que se debe a temperaturas superiores a los 250°C ó pérdidas locales de CO₂ a través de fisuras abiertas.

c).- CLORITAS. Los minerales de este grupo, que se presentan ligeramente coloreados, fibrosos o en forma de hojuelas, han sido clasificados con el término genérico de clorita; también bajo este término queda comprendida la penninita, que se presenta en hojuelas y con los colores de interferencia anómalos típicos en ella. La diferencia entre clorita y penninita, es importante porque ésta última es más semejante a los productos ígneos primarios que a los de alteración hidrotermal.

Los mecanismos más importantes de cloritización, se pueden resumir de la siguiente manera:

- 1) La formación de clorita, en los niveles más fríos de un sistema geotérmico a expensas de ferromagnesianos primarios, simultáneamente con la precipitación de cuarzo y sílice en general, en niveles más calientes, obviamente, este mecanismo ocasionará una especie de zoneamiento en el que el sílice se hallará más cerca de la fuente de calor y la clorita más alejada.

2) La clorita, también puede formarse como producto final de una intensa propilitización. Esta produciría primero micas de grano muy fino (sericita) y minerales arcillosos, los cuales se alterarían posteriormente a clorita, de tal manera que esta sería el último mineral producido por esta secuencia de alteraciones. Este segundo mecanismo de formación de la clorita, es especialmente interesante, porque ha sido detectado anteriormente en otras localidades con andesitas, dacitas y tobas. Hay sin embargo, cierto acuerdo sobre el rango de temperaturas de formación de la clorita; desde menos de 200 hasta un máximo de 360°C.

La distribución de la clorita, es muy amplia en todos los pozos, no hay uno solo en que no se presente en cantidades variables. En cambio, la presencia de la penninita, está notablemente más restringida y tiende a coincidir con minerales de mayor temperatura de formación.

d).- EPIDOTA. La epidota, es un típico mineral de alteración hidrotermal, principal elemento de la saussuritización (alteración deutérica de rocas básicas), que se forma a partir de feldespatos y minerales ferromagnesianos en las rocas ígneas. Su presencia adquiere especial relevancia por las relativamente elevadas temperaturas que se requieren para su formación. En términos generales, no puede esperarse su aparición a menos de 250°C-280°C y en cambio es capaz de resistir temperaturas superiores a los 600°C sin destruirse. Es evidente por ello, que la presencia de la epidota indica condiciones de alta temperatura y en general, cercanía a la fuente de calor.

e).- CUARZO. En una solución líquida, la solubilidad de la sílice disminuye a medida que desciende la temperatura. Por tal motivo, podemos considerar que en un sistema hidrotermal, los fluidos calientes que parten de la fuente de calor, empezarán a precipitar cuarzo en cuanto encuentren niveles más fríos. A las presiones relativamente bajas que se presentan a una profundidad de 1 a 3 Km. el cuarzo empieza a precipitar cuando la temperatura desciende más abajo de los 350°C y probablemente toda la sílice se ha depositado cuando los fluidos han llegado a ambientes con temperatura de 100°C.

De lo anterior puede concluirse que la zona rica en cuarzo, debe encontrarse entre la zona de epidota y la de clorita, con una forma paralela o subparalela a la de ambas, indicando temperaturas intermedias entre las de formación de la clorita y de la epidota, tal y como en general ocurre en los pozos estudiados de Los Azufres.

f).- PIRITA. La pirita es el más abundante y fácilmente identificable de los sulfuros, y aunque puede tener un origen primario o secundario como un producto del hidrotermalismo, parece cierto que en el caso de Los Azufres, la mayoría de la pirita encontrada, tiene un origen secundario. Así lo evidencia su presencia en algunas cavidades, acompañada por otros minerales de origen hidrotermal, aunque también se le observó en los típicos cristales cúbicos aislados, parcialmente alterados a limonita. En rocas volcánicas básicas, la pirita se forma comunmente en fracturas, vetas y otras cavidades en las que la temperatura jamás descendió más allá de los 25°C a 30 °C, pero que fueron inundados por grandes volúmenes de agua; en otras zonas volcánicas, como Islandia y en las Islas Azores, la pirita indica temperaturas ligeramente más altas, entre 100° y 150°C.

Es por eso que en el caso de Los Azufres, no es muy claro el significado de la presencia de la pirita, aunque no es un mineral común y su escasa ocurrencia implica una distribución muy restringida a lo largo de los diferentes pozos.

III.7 RASGOS GENERALES DEL SISTEMA GEOTERMICO.

El yacimiento geotérmico de Los Azufres, es del tipo convectivo que se manifiesta en un medio fracturado. Está dentro de rocas volcánicas con permeabilidad secundaria debido a fallas y fracturas. El fracturamiento forma una amplia red de conductos en forma de planos que se intersectan entre sí, gobernados por el patrón geotectónico regional y local con su fracturamiento conjugado asociado. Aunado al fracturamiento, está presente un sistema hidrotermal producto de una fuente de calor (intrusión magmática) cercanas anómalamente a la superficie.

Se puede resumir que para la existencia del yacimiento geotérmico de Los Azufres, se presentan las siguientes condiciones:

a).- Una fuente de calor situada en los límites cercanos a la corteza terrestre entre 7 y 10 Km. de profundidad aproximadamente, formando un sistema hidrotermal proveniente de la parte superior de una cámara magmática.

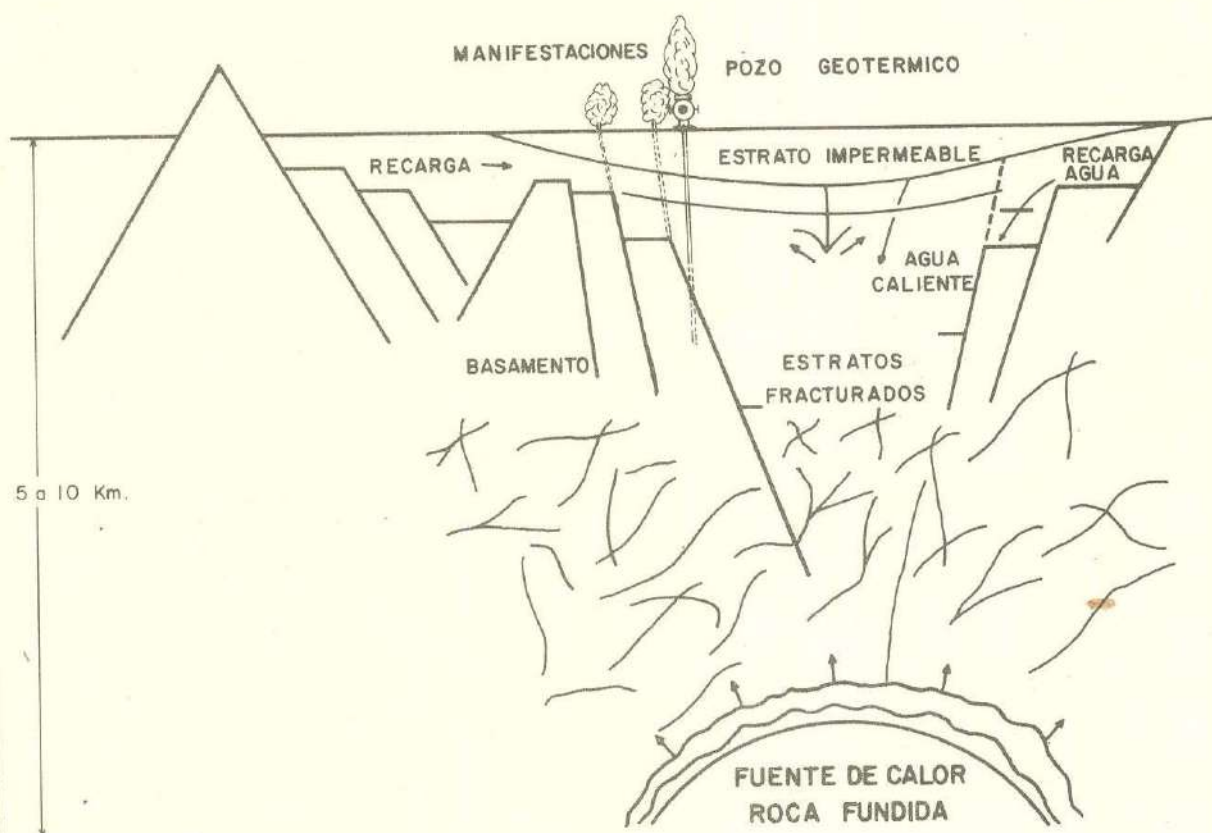
b).- Un paquete de rocas de espesor considerable, de 1000-4000 metros, presentando una permeabilidad alta, adecuada para la formación de un acuífero.

c).- Un acuífero profundo con suficiente recarga que su calentamiento ocasionado por la fuente de calor forme mediante procesos termodinámicos e hidrodinámicos, corrientes de convección que interactúan con la roca fracturada del yacimiento.

d).- Una capa sello formada comunmente por coladas de lava de composición ácida, cristalina e impermeable. También es común que el aislamiento se autopresente por depositación de minerales hidrotermales.

Todas estas condiciones y otras de menor importancia, se conjugan para constituir un sistema geotérmico con factibilidad y potencialidad de explotación prolongada.

MODELO ESQUEMATIZADO DE UN YACIMIENTO GEOTERMICO CONVECTIVO



Una de las evidencias que tuvieron más importancia para la exploración inicial del yacimiento, fueron las manifestaciones termales (fumarolas, solfataras, manantiales calientes, zonas de alteración, etc.), las cuales son reveladoras fugas en superficie de fluidos hidrotermales provenientes de un sistema geotérmico.

Las manifestaciones termales están ampliamente distribuidas en el área de estudio. Estas se presentan a lo largo de las trazas superficiales de las estructuras corticales y su fracturamiento asociado. El yacimiento en estudio, posee condiciones atractivas para la obtención de energía durante un tiempo razonablemente rentable. (Ver tabla de manifestaciones).

III.8. ORIGEN DEL YACIMIENTO GEOTERMICO.

El calor que en forma anómala se presenta cercano a la superficie en el campo geotérmico de Los Azufres, es consecuencia directa del volcanismo reciente que se extiende a todo lo largo del Eje Neovolcánico Transmexicano. Este calor tiene como principal fuente y origen, cámaras magmáticas formadas en trampas tectónicas regionales, que son consecuencia directa del fenómeno de interacción destructiva de las placas oceánicas: Pacífico, Cocos, y de la placa continental Americana, de las cuales, la primera está subduciendo a la continental, lo que proporciona la formación de cámaras magmáticas que generan o producen un flujo térmico. Dicho flujo térmico, tiene un comportamiento ascendente e interactúa con un sistema geohidrológico o acuífero inmerso en un medio fracturado, para formar propiamente el yacimiento geotérmico. Asociados se encuentran por lo menos, dos sistemas hidrotermales que se han presentado en épocas geológicas diferentes y que se han detectado por estudios de isótopos estables.

TABLA DE MANIFESTACIONES GEOTERMICAS

NOMBRE	LOCALIZACION COORDENADAS X Y Z	TIPO DE MANIFESTACION	ROCA AFLOANTE	RELACION ESTRUCTURAL	TERMOMETRIA EN °C	
					MAX.	MIN.
LAGUNA VERDE	326,300 2,193,300 2,900	SOLFATARA V. DE LODO	ANDESITAS	F.L. VERDE	92	82
ESPINAZO DEL DIABLO	324,400 2,193.100 2,775	FUMAROLA	ANDESITAS	FALLA ESPINAZO DEL DIABLO	95	75
NOPALITO I	324,200 2,193.450 2,675	FUMAROLA	ANDESITAS	FALLA LA CUMBRE	91	86
LA CUMBRE	323,750 2,192.125 2,800	FUMAROLA	RIOLITAS	FALLA LA CUMBRE	92	60
MARITARO	325,300 2,192.500 2,825	VOLCAN DE LODO	ANDESITAS	F. MARITARO	90	78
EL CHINO	323,800 2,190.970 2,825	MANANTIAL THERMAL	RIOLITAS	FALLA EL CHINO	65	45
SAN ALEJO	323,800 2,189.830 2,850	MANANTIAL THERMAL	RIOLITAS	FALLA SAN ALEJO	40	38
LAS HUMAREDAS	326,100 2,188.600 2,925	FUMAROLA	RIOLITAS	FALLA AGUA FRIA	95	75
LOS AJOLOTES	324,315 2,188.920 2,800	MANANTIAL THERMAL	TOBAS BRECHOIDE ACIDA	FALLA PUENTECI- LLAS	51	50
TEJAMANILES	324,750 2,187.935 2,775	MANANTIAL THERMAL	CONTACTO ENTRE TOBAS Y RIOLITAS	FALLA TEJAMANILES	65	50
PUENTECILLAS	325,562 2,188.170 2,825	FUMAROLAS	DACITAS	FALLA PUENTECILLAS	90	88
LOS AZUFRES	326,450 2,187.925 2,850	VOLCAN DE LODO	DACITAS	FALLA AZUFRES Y FALLA TEJAMANILES	90	83
CURRUTACO	326,080 2,188.210 2,900	VOLCAN DE LODO	DACITAS	FALLA PUENTECILLAS	90	75
CHIFLADOR	326,120 2,188.320 2,950	FUMAROLA	DACITAS	FALLA PUENTECILLAS	98	90

III. 9 DIMENSIONES CONOCIDAS DEL YACIMIENTO.

Para la delimitación espacial del yacimiento y su forma, se hizo necesario integrar la información geológica, geofísica y geotérmica (Isotermas y control general de pozos), las cuales permitieron definir un cubo, delimitado por estructuras corticales de gran ángulo, que forman las barreras estructurales.

Horizontalmente el yacimiento fué delimitado hacia su porción oriental por la falla La Presa y el contacto geológico entre unidades. En su parte occidental se encuentra delimitado por los domos recientes (Unidad La Yerbabuena). En su parte norte la fractura, Los Coyotes, ha sido hasta la fecha considerada como su frontera estructural y en su porción sur la falla El Chinapo, marca los límites del yacimiento en este sector.

Verticalmente, el yacimiento ha sido delimitado preliminarmente, por el trazo de la isoterma de 250°C (Temperatura mínima de yacimiento) y por los resultados obtenidos en la perforación de los pozos de exploración del campo, identificando las profundidades de las zonas productoras con un espesor aproximado de 1,000 metros.



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
DEPTO. GEOLOGIA

CAPITULO IV. METODOS DE EXPLORACION.

Igual que para todo tipo de yacimiento, la sistemática de exploración y evaluación de un yacimiento geotérmico, va a ir encaminada de lo general e indirecto a lo particular y directo.

Los siguientes, son los principales métodos de exploración que integran, dieron información acerca de la geología y factibilidad del yacimiento geotérmico:

a).- METODOS GEOLOGICOS. Constan de estudios regionales apoyados por imágenes de satélite, analizando los diferentes espectros que reflejan anomalías térmicas en superficie. Los mapeos geológicos regionales, ubicaron al área de interés en un contexto geológico tectónico y facilitó la interpretación a nivel local. Estudios locales a escalas más reducidas (1:20000 -1:10000). fueron necesarios para conocer detalladamente la geología del área geotérmica en estudio.

Se elaboraron cartas geológicas a gran escala (Demant, Mauovis, Silva Mora, 1975), hojas Morelia Maravatío. También se elaboraron planos geológicos-estructurales a escalas 1:10,000, 1:20,000 y 1:40,000 que han ido perfeccionándose con el paso de varias generaciones de geólogos que hasta la fecha han contribuido para el mejor conocimiento del campo. En un sentido particular, la geología estructural y la geología del subsuelo, han sido los métodos geológicos que más evidencias han proporcionado para dicho conocimiento, a partir de mediciones superficiales efectuadas en los afloramientos de las estructuras, así como en correlaciones hechas con información de subsuelo, tales como: Zonas de cataclásis, brechas y arcillas de falla, halos o zonas preferenciales de alteración hidrotermal (silicificación, epidotización, carbonatación, caolinización, etc.) observando todo esto en las muestras de canal y núcleos provenientes de los pozos perforados.

b). METODOS GEOFISICOS.- Uno de los métodos de exploración geofísica, que se utilizó y que se obtuvieron resultados positivos acerca de condiciones atractivas a profundidad, fué el método eléctrico de resistividad, específicamente el de sondeos eléctricos verticales (S.E.V.), habiéndose utilizado el dispositivo electrónico Schlumberger, con separaciones inter electrónicas de 4000, 3000 y 2000 m. de AB/2. Se ha establecido de manera general, en base a las experiencias obtenidas en la exploración geoelectrica, que las zonas productoras que contienen fluidos geotérmicos, están directamente relacionadas con valores bajos o mínimos resistivos (5-20 ohms / m/m), en función de que los fluidos contienen gran cantidad de sales.

Otras de las razones por las que disminuye la resistividad es la alteración hidrotermal de las rocas ígneas, dando como resultado zonas alteradas, arcillas y zeolitas, motivo por el cual baja la resistividad.

Por lo general, las rocas volcánicas tienen una elevada resistividad, la cual puede disminuir si en ellas existen fluidos, salinidad, temperatura o alteración de roca; este contraste ha permitido la localización de las zonas de baja resistividad, lo que en el caso de Los Azufres, es coincidente con las zonas de importancia geotérmica. Por esta razón, este método ha sido un valioso auxiliar en la exploración.

Otro de los métodos geofísicos que dieron directrices para la exploración del campo geotérmico, fué la termometría superficial aplicado en manifestaciones termales. Estas constituyen fugas del sistema a superficie y sus condiciones de temperatura ayudaron a localizar y delimitar anomalías térmicas, así como también a definir condiciones estructurales particulares.

c). METODOS GEOQUIMICOS. Las relaciones geoquímicas al yacimiento geotérmico son otras herramientas indirectas para la localización de zonas anómalas. Estas relaciones se enfocan al estudio del equilibrio químico agua-roca. La investigación geoquímica se desarrolla a partir de la química clásica, así como también en las técnicas basadas en la caracterización isotó-

pica utilizando los fraccionamientos de isótopos pesados identificados por la relación $O^{16} - O^{18}$ y H-D.

Los estudios geoquímicos se efectúan a los desprendimientos hidrotermales en superficie (agua, gas, vapor), principalmente fumarolas, volcanes de lodo y manantiales calientes. La información básica que se obtiene, es la definición del marco geoquímico regional, con ello se inicia la interpretación de los sistemas de circulación de agua, origen de los fluidos y su interrelación con las rocas del subsuelo. Otro de los objetivos de estos trabajos, es el de estimar la temperatura del yacimiento, utilizando geotermómetros químicos.

La geoquímica del acuífero geotérmico o hidrogeoquímico del área de estudio, es efectuada actualmente para conocer las posibles zonas de recarga, así como su potencialidad extractiva. Esto se logra con la interpretación geohidrológica y de resultados de los análisis físico-químicos, efectuados en muestras de agua provenientes de manantiales fríos, norias y pozos circundantes al campo.

d). PERFORACIONES. Uno de los objetivos fundamentales de los métodos de exploración, es la de localizar sitios favorables para la perforación de pozos productores de fluidos geotérmicos. Se requieren para este fin, pozos de pruebas o exploratorios que proporcionan información acerca de la existencia de un yacimiento y ubicación de sus zonas productoras.

Para la perforación de los pozos exploratorios en Los Azufres, se han utilizado equipos similares usados en la exploración petrolera, con capacidad de perforación hasta de 4000 metros de profundidad. La técnica de perforación, se basa en la experiencia petrolera, sin embargo, ésta ha evolucionado a partir de la perforación de los primeros pozos exploratorios en la zona, los problemas derivados de la dureza de la roca ígnea, la presencia de elevadas temperaturas, la inestabilidad de las paredes de los pozos en las zonas alteradas etcétera, han planteado una problemática que se ha tenido que resolver.

Las principales diferencias con la perforación petrolera son:

1. La necesidad de mantener fríos, el Ph, viscosidad y densidad adecuada el lodo de perforación.
2. El requerimiento de una tubería de producción de mayor diámetro, construida con aceros especiales y con uniones de rosca de mayor resistencia.
3. Utilización de cementos con aditivos especiales, para la colocación y cementación de las tuberías de revestimiento.

Es mediante pozos exploratorios que la geología del subsuelo del área de estudio, ha avanzado en gran medida su conocimiento referente a ciertos aspectos encaminados a cuantificar y evaluar las diferentes zonas de producción.

A la fecha se han perforado 51 pozos y el promedio de profundidad es de 1600 metros, para alcanzar un total de 81,680 metros perforados. De éstos, 27 son productores, otros son de exploración de inyección o fallidos.

CAPITULO V. ANALISIS ESTRUCTURAL COMO UNA GUIA PARA SELECCIONAR SITIOS DE POZOS PRODUCTORES DE FLUIDOS GEOTERMICOS.

La producción de vapor endógeno en el campo geotérmico de Los Azufres, está restringido principalmente a conductos relacionados con planos de falla así como a zonas que presentan mayor fracturamiento. Esta restricción estructural, motiva que la perforación de pozos para la producción de fluidos se localicen de tal manera que intersecten a los planos de las diferentes estructuras que están presentes en el área y que poseen una permeabilidad significativamente alta. Esto implica que la intersección pozo-falla, debe ser a una profundidad tal que se tengan temperaturas por arriba de los 250 °C. Con la interpretación de subsuelo y cálculos estadísticos de los echados promedios de las diferentes estructuras, se pueden inferir las profundidades de intersección, lográndose con esto la ubicación óptima para sitios de pozos a perforar con un porcentaje bastante alto de éxito, tal como se aprecia en las tablas del subcapítulo III.5. (DESCRIPCION DE ESTRUCTURAS).

V.1. RELACION ENTRE ESTRUCTURAS Y ZONAS PRODUCTORAS.

A partir de la interpretación de los datos geológicos-estructurales superficiales y de subsuelo, se ha podido establecer una correlación directa entre estructuras y zonas productoras como se muestra en la sección de zonas permeables de cada pozo. (En el anexo sección IV, V y VI).

Tomando como base los resultados hasta ahora obtenidos en este campo, se puede decir que la relación entre estructuras y zonas productoras es directa y la producción estará en función de la porosidad y permeabilidad que presenten los planos de estas estructuras y no de la roca. La conductividad del fluido está regida por la depositación de minerales hidrotermales que pueden actuar como sello.

CAMPO GEOTERMICO LOS AZUFRES **GENERACION POR ESTRUCTURA**

SISTEMA	ESTRUCTURA	VAPOR T/H	AGUA T/H	GAS %	GENERACION M W	INYECCION T/H	LIBERACION GAS %
NE — SW	EL VAMPIRO						
	EL VIEJON						
	AGUA CENIZA						
	NOPALITO	150	250		12.5	250	
E — W	AZUFRES	112.0	160.0	6.3	9.33	160.0	6.3
	TEJAMANILES	120.0	61.0	6.4	10.0	61.0	6.4
	PUENTECILLAS	383.6	98.3	27.3	31.96	98.3	27.3
	AGUA FRIA	127.2	102.4	4.3	10.58	102.4	4.3
	EL CHINO	56.8	32.4	0.57	4.73	32.4	0.57
	LA CUMBRE	125.5	199.4	2.75	10.45	199.4	2.75
N — S	MARITARO	17.0	36.0	0.32	1.41	36.0	0.32
	LAGUNA VERDE	191.0	114.0	4.2	15.91	114.0	4.2
	T O T A L E S						

CAMPO GEOTERMICO LOS AZUFRES **ESTRUCTURAS Y NIVELES PRODUCTORES**

SISTEMA	ESTRUCTURA	POZO	NIVEL DE PRODUCCION ' PROF. EN m.	PRODUCCION		
				VAPOR T/H	AGUA T/H	GAS %
NE — SW SISTEMA ANTIGUO	EL VAMPIRO					
	EL VIEJON					
	AGUA CENIZA					
	NOPALITO	Az — 42 Az — 27	1769 — 1806	150	250	
E — W SISTEMA INTERMEDIO	AZUFRES	Az — 6	648 — 881	28.0	0.0	6.3
		Az — 26	1166 — 1240	84.0	160.0	4.5
	TEJAMANILES	Az — 46	873 — 970	53.0	45.0	1.8
		Az — 33	602 — 683	67.0	16.0	4.6
		Az — 37	828 — 956	57.0	0.0	0.5
	PUENTECILLAS	Az — 17	561 — 622	57.0	0.0	4.8
		Az — 36	676 — 1034	40.0	24.0	2.9
		Az — 38	643 — 748	116.0	7.0	3.8
		Az — 34	744 — 856	51.6	3.3	7.7
		Az — 18	1013 — 1324	62.0	64.0	7.6
		Az — 22	1007 — 1550	98.0	97.0	1.1
N — S SISTEMA RECIENTE	AGUA FRIA	Az — 35	1107 — 1232	29.2	5.4	3.2
		Az — 9	1543 — 2445	56.8	32.4	0.57
	EL CHINO	Az — 4	1239 — 1252	54.9	136.4	0.30
		Az — 28	713 — 1191	28.0	60.0	0.85
		Az — 32	1005 — 1356	42.6	3.3	1.60
	LA CUMBRE	Az — 19	991 — 1663	17.0	36.0	0.32
		Az — 49	1802 — 2400			
	MARITARO	Az — 13	1021 — 1215	53.0	54.0	1.30
		Az — 43	818 — 1503	65.0	17.0	0.90
		Az — 5	1071 — 1489	73.0	43.0	2.00
		Az — 48	2275 — 2685			

Las rocas volcánicas presentes en este campo, no manifiestan porosidad y permeabilidad primaria, considerándoseles de baja o nula y unicamente se presentan de manera secundaria debida a los eventos tectónicos que han fracturado dichas rocas. Aunque en estudios recientes se ha demostrado que se pueden presentar relacionadas a condiciones petrofísicas de la matriz y al microfracturamiento debido a distintos procesos, tales como: enfriamiento de lavas, alteración hidrotermal y circulación de aguas de diferentes temperaturas al yacimiento. En algunos pozos, se han presentado zonas productoras entre contactos de diferentes coladas como el caso del pozo Az-41 (674 m), que produce en el contacto de dos coladas diferentes de andesita.

A partir de la fuente de calor, la energía térmica se transmite en forma radial y fallas y fracturas han servido de conducto para el rápido ascenso de ésta hasta la superficie, como se puede observar en el plano geológico donde fallas y fracturas y las de mayor importancia se encuentran en los cruces de los diferentes sistemas estructurales. En consecuencia la relación de estructuras y producción de fluidos, es directamente proporcional a la continuidad de los conductos.

A cerca de las estructuras productoras, se ha podido observar que cuando son almacenadoras y transmisoras de vapor, la energía se transmite de las dos formas siguientes conducción térmica y convección térmica, presentándose la primera en las cercanías de las fallas, y la segunda en los conductos originados por dichas fallas. Es por lo anterior que el comportamiento de las isotermas a profundidad es ligeramente irregular y sobre los planos de falla forman apófisis ascendentes.

En el yacimiento de Los Azufres, los pozos se perforan con dos objetivos primordiales; alcanzar la zona permeable y la isoterma de 250°C, para garantizar la buena producción de vapor. Esta temperatura se presenta para la zona sur del campo, entre 650 y 1100m. de profundidad, en tanto que para la zona Norte se alcanza entre 1300 y 2500 m. Los niveles de las isotermas de 50°C, 100°C, 150°C, 200°C y 250°C, se muestran en las secciones geológicas no. I, II y III. La distribución de valores anormales de temperatura en superficie se presentan en el plano no. 9.

V.II. RESULTADOS DE LA INTERPRETACION ESTRUCTURAL APOYADO CON INFORMACION DE SUBSUELO.

De los resultados más importantes obtenidos de esta interpretación se pueden resumir los siguientes:

- 1) Se determinó la continuidad a profundidad de las fallas.
- 2) Se ha obtenido datos confiables que fluctúan entre 78° y 84° para los echados de todas las estructuras investigadas con perforaciones.
- 3) Se ha establecido correlación entre fallas mapeadas superficialmente y fallas detectadas en subsuelo a profundidades hasta de 3000 mts.
- 4) Se han programado las perforaciones con objetivo estructural a profundidad, bien definido.
- 5) Se han logrado un mayor número de pozos productores.
- 6) Se han desarrollado integralmente a la producción estructuras como "Puentecillas", "Agua Fría", "Tejamaniles", "Azufres", "El Chino", "La Cumbre", "Marítaro", y "Laguna Verde".



EL HABER DE MIS HECHOS
HARA MI GRANDEZA
DEPTO. GEOLOGIA

VI. CONCLUSIONES.

1). El patrón estructural está constituido por tres sistemas:

- a). El más antiguo de dirección NE-SW con echados de 82° a 83.5° , tanto al NW como al SE y afecta exclusivamente a las rocas basales Mio-pliocénicas.
- b). Un sistema E-W que afecta a las rocas pleistocénicas hasta la unidad San Andrés presenta echados que van de 78° a 85° con buzamientos al norte y al sur.
- c). El tercer sistema el cual es más reciente, tiene una dirección N-S, afecta a todas las rocas de la columna y se observan echados de 78° a 82° con buzamiento al E y W.

2). Las manifestaciones termales se encuentran localizadas a lo largo de las fallas de los tres sistemas y las de mayor importancia como es Laguna Los Azufres, Laguna Verde y Maritaro, se localizan en el cruce del sistema E-W con el N-S.

3). Con los trabajos desarrollados sobre control estructural de superficie y subsuelo, se ha logrado tener un alto grado de confiabilidad en la localización de sitios favorables para perforar pozos con fines de producción.

INDICE DE PLANOS, FIGURAS Y TABLAS

	PAGINA
1. CALCULO DE ECHADOS	4a
2. PLANO DE LOCALIZACION	6a
3. TABLA REGIONAL DE CORRELACION ESTRATIGRAFICA	15a
4. MODELO ESQUEMATIZADO DE UN YACIMIENTO GEOTERMICO CONVECTIVO	28a
5. TABLAS DE MANIFESTACIONES	29a
6. TABLA DE GENERACION POR ESTRUCTURAS	35a
7. TABLA DE ESTRUCTURAS Y NIVELES PRODUCTORES	35b
8. PLANO GEOLOGICO ESTRUCTURAL	ANEXO
9. PLANO DE ISOTERMAS SUPERFICIALES	ANEXO
10. PLANO DE ISOTERMAS DE 250°	ANEXO
11. SECCION GEOLOGICA I-I'	ANEXO
12. SECCION GEOLOGICA II-II'	ANEXO
13. SECCION GEOLOGICA III-III'	ANEXO
14. SECCION ZONAS PERMEABLES IV-IV'	ANEXO
15. SECCION ZONAS PERMEABLES V-V'	ANEXO
16. SECCION ZONAS PERMEABLES VI-VI'	ANEXO

REFERENCIAS

- Araña S. V., L. R. José, Volcanismo, Dinámica y Petrografía de sus productos.
- Camacho A. F., Palacios N. M., 1979, Geología de la zona geotérmica de Los Azufres, Mich., C. F. E., reporte interno.
- Campa, M. F., Oviedo, Amador y Tardy, Marc, 1976, La cabalgadura laramídica del dominio volcánico-sedimentario (Arco Alisitos-Teloloapan) sobre el Miogeosinclinal mexicano en los límites de los estados de Guerrero y México; Acapulco (México), Cong. Latinoamericano. Geología, 3, Resúmenes, p.23 (resumen).
- Davis G. 1984, Structural Geology, University of Arizona.
- De la Cruz M. V. 1982, Estudio geológico-estructural a detalle del campo geotérmico Los Azufres, Mich., C.F.E. reporte interno.
- Demant Alain, Mauovis, Roger, y Silva-Mora, Luis, 1976, El Eje Neovolcánico: Acapulco (México), Cong. Latinoam. Geología, libreto-guía A, 30 p.
- Dobson P. F. 1984, Estratigrafía Volcánica del Centro Geotérmico de Los Azufres, Mich., Depto. de Geología y Comité de estudios de postgrado de la Universidad de Stanford.
- Garduño M. V. H. 1985, Análisis estructural de la zona norte del Campo Geotérmico de Los Azufres, Mich., C. F. E.

- Garfias F. A. 1981, Secciones geológicas, Módulo Tejamaniles, Isotermas, Zonas permeables y minerales secundarios, C.F.E reporte interno.
- Gutiérrez N. L. C. A. 1980, El Campo Geotérmico de Los Azufres, Mich., Reporte interno.
- Molina Barbeyer R. y A. Templos M. Hidrogeoquímica, Depto. de Geotermia, C. F. E., 1976.
- Mooser F., Nairn A. E. M. y Negendank J. F. W. (1974). Paleomagnetic investigations on the Tertiary and Quaternary igneous rocks. VIII. A paleomagnetic and petrologic study of volcanics of the Valley of Mexico. Geol. Rundschau 63, 451-483.
- Mooser 1967. The Mexican Volcanic Belt-structure and development. Formation of fractures by differential crustal heating: Pan american Symposium on the Upper Mantle, Mexico, D. F., p. 15.