

**VISION DEL ESTADO ACTUAL DE LA  
GEOTERMIA EN AMERICA LATINA  
(PROYECTOS GEOTERMICOS)**



1978

VISION DEL ESTADO ACTUAL DE LA GEOTERMIA EN AMERICA  
LATINA  
(PROYECTOS GEOTERMICOS)

Serie Documentos OLADE No. 2

# I N D I C E :

	<u>PAG.</u>
INTRODUCCION GENERAL (PROYECTOS GEOTERMICOS)	1
<u>B O L I V I A :</u>	
→ INVESTIGACIONES GEOTERMICAS EN BOLIVIA	3
<u>C O L O M B I A :</u>	
→ ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACION GEOTERMICA EN COLOMBIA	39
<u>C O S T A R I C A :</u>	
→ EL PROYECTO GEOTERMICO DE COSTA RICA (ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS)	61
<u>C H I L E :</u>	
→ LA ENERGIA GEOTERMICA EN CHILE	77
<u>E L S A L V A D O R :</u>	
→ RECURSOS GEOTERMICOS EN EL SALVADOR	95
<u>G U A T E M A L A :</u>	
→ EXPLORACION GEOTERMICA EN GUATEMALA	131
<u>H A I T I :</u>	
→ INFORME PRELIMINAR SOBRE LAS POSIBILIDADES GEOTERMICAS DE LA REPUBLICA DE HAITI	177
<u>J A M A I C A :</u>	
→ INFORME PRELIMINAR SOBRE LAS POSIBILIDADES GEOTERMICAS DE JAMAICA	195

M E X I C O:

→ EL CAMPO GEOTERMICO DE CERRO PRIETO (ESTUDIOS REALIZADOS Y PROGRAMAS FUTUROS)	219
--	-----

N I C A R A G U A:

→ DESARROLLO DEL PROYECTO GEOTERMICO MOMOTOMBO	263
--	-----

P A N A M A:

→ ESTADO ACTUAL DE LAS INVESTIGACIONES GEOTERMICAS EN PANAMA	279
---	-----

REPUBLICA DOMINICANA:

→ INVESTIGACION GEOTERMICA EN REPUBLICA DOMINICANA	295
--	-----

V E N E Z U E L A:

→ INFORME SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS GEOTERMICOS EN VENEZUELA	321
--	-----

## VISION DEL ESTADO ACTUAL DE LA GEOTERMIA EN AMERICA LATINA

(PROYECTOS GEOTERMICOS)

Los trabajos contenidos en el presente documento son fruto del Primer Seminario sobre Exploración Geotérmica realizado en Quito, Ecuador, del 27 al 31 de marzo de 1978 bajo los auspicios de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), Instituto Italo-Latino Americano (IILA), Corporación Andina de Fomento (CAF), Comisión Federal de Electricidad de México, (CFE) y Petróleos Mexicanos (PEMEX).

La presentación de los trabajos aquí expuestos corresponde al segundo punto del Seminario, en donde los Jefes de Proyectos Geotérmicos de los países latinoamericanos presentaron los proyectos y/o programas de sus respectivos países para ser discutidos en el foro mencionado.

Las discusiones en mesa redonda y el alto nivel alcanzado en el análisis de estos proyectos alienta a OLADE a sistematizar una publicación que, anualmente, presente el estado de la geotermia en América Latina, ya que en el Seminario quedó considerado este intercambio necesariamente benéfico a la experiencia geotérmica en nuestra Región. Por diversas razones, no fue posible contar con los proyectos geotérmicos de Argentina, Honduras y Los Azufres en México.

En un segundo seminario sobre exploración geotérmica se analizará la metodología de exploración para la fase de factibilidad. OLADE espera que este evento se realice durante el primer trimestre de 1979, en principio en El Salvador. Allí se presentaría el avance logrado en el año así como el estado en que se encuentra la geotermia en los países de la Región.

El presente documento es el complemento al primer volumen de la Metodología sobre Exploración Geotérmica (Fases de Reconocimiento y Pre factibilidad), el mismo que fuera sancionado durante el primer Seminario sobre Exploración Geotérmica por los expertos participantes.

En la presentación de algunos de los proyectos podrá verse el impacto que ha causado la iniciativa de OLADE, en el sentido de establecer una metodología de exploración geotérmica buscando siempre la coordinación de un organismo regional como OLADE, ya que con la aplicación de una metodología de exploración adecuada debe lograrse optimizar los escasos recursos técnicos, financieros y humanos con que cuenta nuestra Región para bien del desarrollo de esta fuente energética. OLADE, por su parte, y dentro de su Programa Geotermia, tiene establecidas acciones tendientes a subsanar estas limitaciones sentando bases (acuerdos de cooperación entre OLADE y países y/o instituciones extrarregionales) para una transferencia tecnológica, y posibles financiamientos externos que aseguren el inicio de nuevos proyectos y/o el apoyo a los actualmente en curso, así como la capacitación y entrenamiento sistemáticos de técnicos latinoamericanos en países más avanzados en este campo.

Con todo ello, OLADE ve con optimismo el futuro de la geotermia en América Latina para poder integrar esta fuente energética, en mayor o menor medida, a la oferta de energía de nuestros países coadyuvando a la satisfacción de esta necesidad tan imperiosa para el desarrollo de nuestra Región.

B O L I V I A

INVESTIGACIONES GEOTERMICAS EN BOLIVIA

AUTORES:

F. Austurizaga (Ministerio de Minería)  
F. Barberi (AQUATER S.p.a. - Italia)  
R. Carrasco (GEOBOL)  
W. Cassis (Ministerio de Minería)  
A. Merla (AQUATER S. p.a. Italia)  
E. Ploskonka (GEOBOL)

/ INVESTIGACION /  
/ \* GEOTERMICA /  
/ BOLIVIA /

## CONTENIDO:

1. INTRODUCCION
2. SINTESIS DE LAS INVESTIGACIONES VULCANOLOGICAS,  
GEOLOGICAS Y GEOQUIMICAS
3. CONSIDERACIONES SOBRE LA GEOQUIMICA DE LAS  
AGUAS TERMALES
4. DESCRIPCION GEOLOGICA DE LAS AREAS MAS  
FAVORABLES
5. CONCLUSIONES

## INVESTIGACIONES GEOTERMICAS EN BOLIVIA

### 1. INTRODUCCION

En el año 1975 se efectuó en Bolivia una misión del experto geotérmico Prof. G. Marinelli. El objetivo de esta misión, cuyo financiamiento fue a cargo del Servicio de Cooperación Técnica del Ministerio del Extranjero de Italia, era el establecer, en forma preliminar, la existencia en el país de situaciones geológicas favorables, a nivel regional, a la presencia de recursos geotérmicos de alta entalpia.

Los resultados de esta misión señalaron "indudables posibilidades en encontrar áreas favorables a la exploración geotérmica" en territorio boliviano; además se identificó a la Cordillera Sud Occidental como la región más promisoría, mientras que la Cordillera Oriental quedó considerada como de menor interés, aún cuando se señalaron algunos indicios geotérmicos.

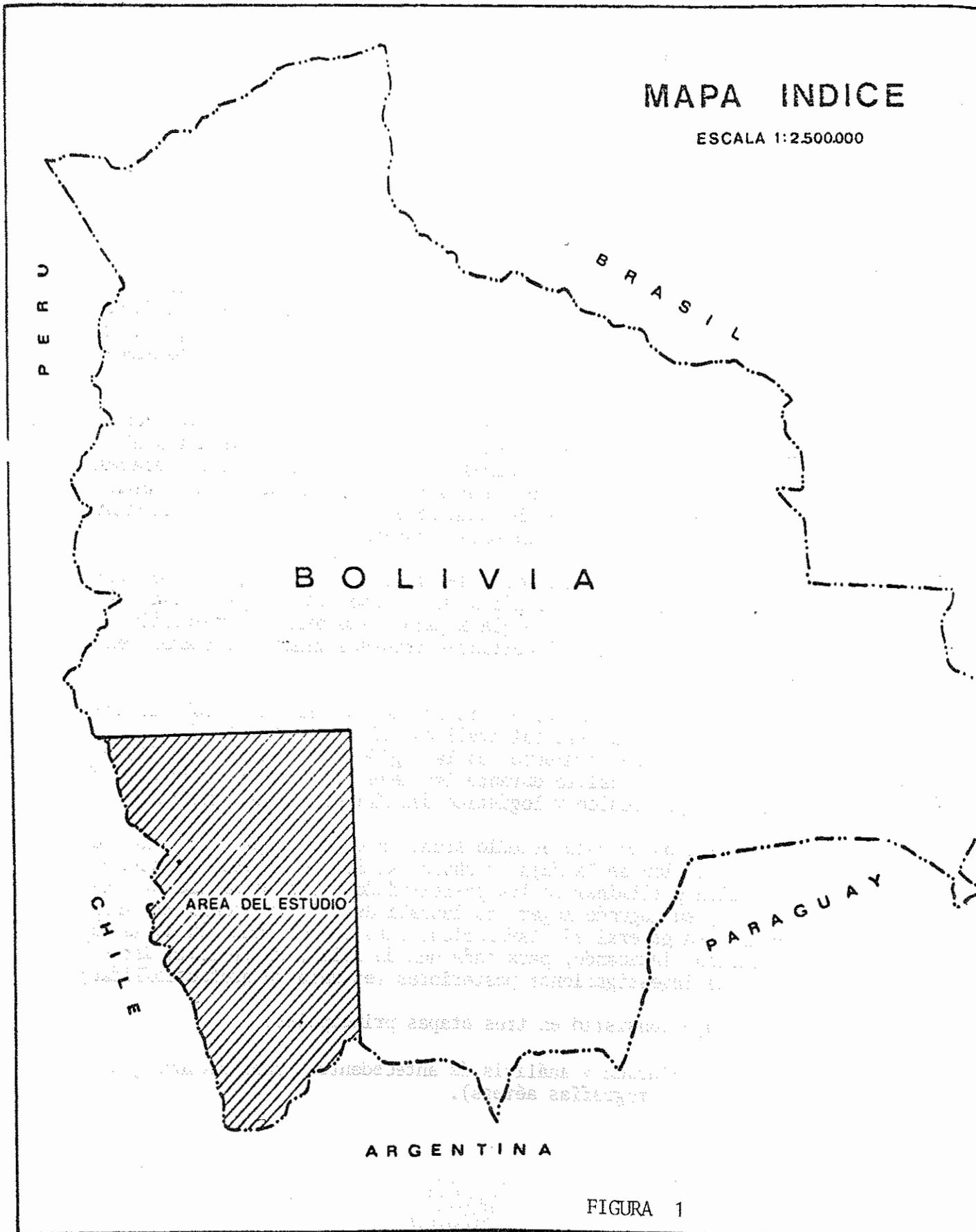
Posteriormente, el Ministerio de Minería y Metalurgia de Bolivia decidió continuar los estudios en el Sudoeste del país con el propósito de producir energía a bajo costo para el desarrollo y la explotación de los importantes recursos mineros ubicados en la región misma.

Derivado de lo anterior, el Ministerio de Minería de Bolivia encargó a la empresa estatal italiana del Grupo ENI, AQUATER, un "estudio de reconocimiento" en la región Sudoeste (Figura 1). Dicho estudio se realizó durante los meses de junio y julio de 1976 con el apoyo técnico y logístico del Ministerio de Minería.

Los objetivos de este estudio eran, en primer lugar y en base a una inspección de la faja volcánica al Sur de Sajama, dar una evaluación preliminar de las posibilidades geotérmicas de la región; y, en segundo lugar, se deseaba definir las zonas más indicadas y en general más favorables, para la continuación de la exploración, indicando, para cada una de ellas, un programa detallado de investigaciones posteriores (estudio de prefactibilidad).

El trabajo consistió en tres etapas principales:

- 1.1 Compilación y análisis de antecedentes (publicaciones, mapas, fotografías aéreas).



# MAPA INDICE

ESCALA 1:2.500.000

P E R U

B R A S I L

B O L I V I A

C H I L E

AREA DEL ESTUDIO

P A R A G U A Y

A R G E N T I N A

FIGURA 1

## 1.2 Investigaciones de Campo

Se cumplieron observaciones geológicas, vulcanológicas e hidrogeológicas donde fueron recolectadas numerosas muestras de rocas y aguas termales;

## 1.3 Análisis de Laboratorio

Sobre esas muestras se efectuaron, en Italia, análisis químicos (aguas); químicos y petrográficos (rocas), difractométricos (incrustaciones de los manantiales). En algunas muestras seleccionadas se determinaron edades absolutas en base a métodos radiométricos. Finalmente, fue realizada una interpretación estructural de las imágenes Landsat, ampliadas al 250.000 de la región investigada.

Este primer estudio en Bolivia fue realizado por el Profesor Franco Barberi y el Dr. Andrea Merla (AQUATER), asistidos por el Profesor E. Ploskonka y el Dr. R. Carrasco de GEOBOL, y por el Ing. A. Asturizaga y W. Cassis del Ministerio de Minería y Metalurgia.

Los análisis en Italia fueron realizados en los laboratorios de AQUATER (fotointerpretación y análisis de agua) y de la Universidad de Pisa (dataciones, difracción, petrografía y química de las rocas y de los minerales).

Las conclusiones generales discutidas con el Profesor G. Marinelli.

El informe final del estudio de reconocimiento fue entregado en el mes de octubre de 1976 al Ministerio de Minería (A.S.E. Zelaya). Una síntesis de este informe se encuentra en el capítulo siguiente.

Las recomendaciones contenidas en el informe del estudio de reconocimiento definieron, en la faja volcánica del sudoeste, siete áreas de interés geotérmico (Figura 2).

- Volcán Sajama - área 1.100 Km<sup>2</sup>
- Salar de Empexa - área 1.200 Km<sup>2</sup>
- Salar de la Laguna - área 600 Km<sup>2</sup>
- Volcán Ollague - Cachi Laguna - área 3.000 Km<sup>2</sup>

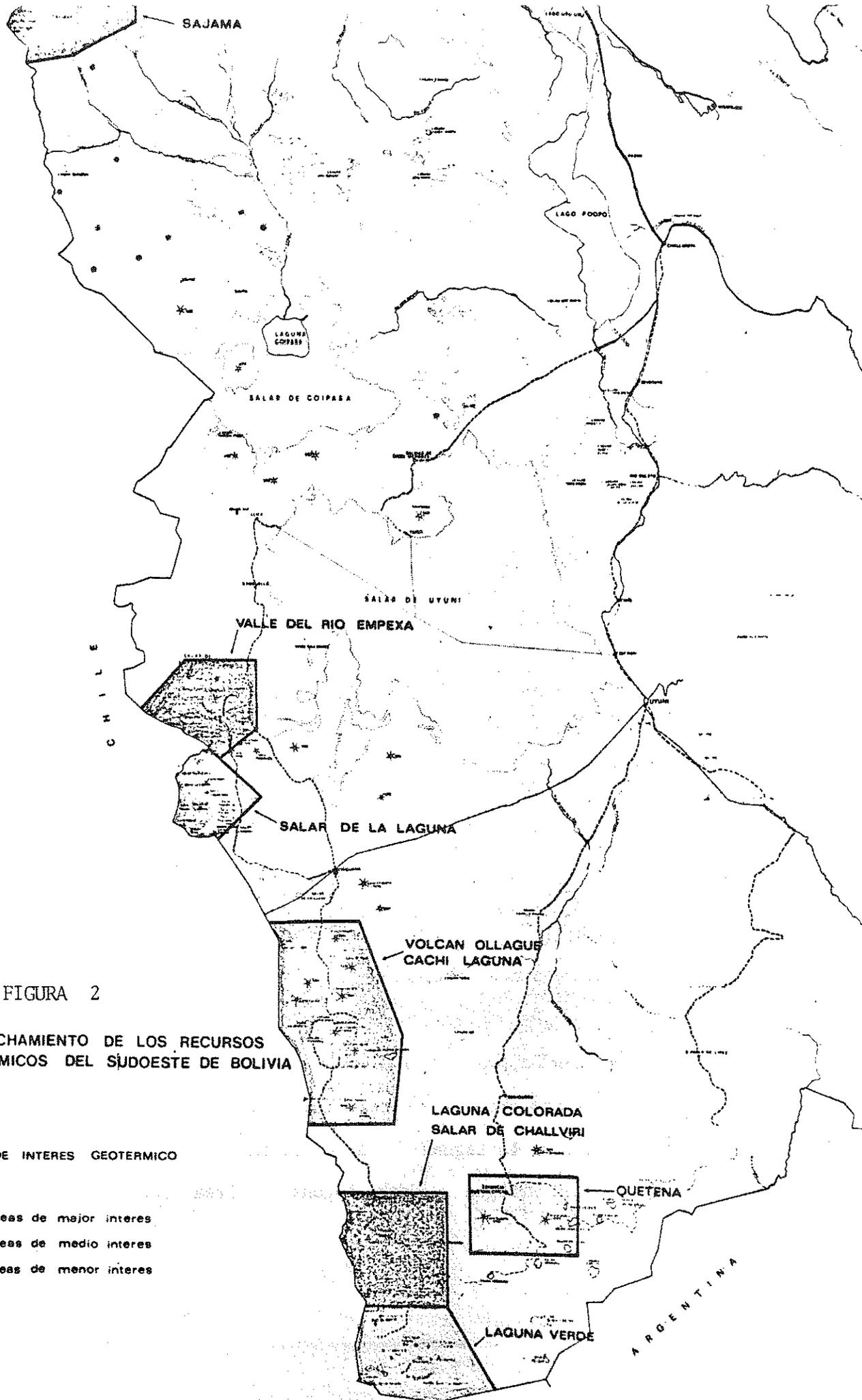


FIGURA 2

APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS GEOTERMICOS DEL SUDOESTE DE BOLIVIA

AREAS DE INTERES GEOTERMICO

LEYENDA

-  Areas de mejor interes
-  Areas de medio interes
-  Areas de menor interes

- Laguna Colorada - área 1.500 Km<sup>2</sup>
- Laguna Verde - área 1.500 Km<sup>2</sup>
- Quetena - área 1.200 Km<sup>2</sup>

De éstas, se seleccionaron como más favorables, sea desde el punto de vista técnico, sea por motivos económicos y logísticos, el Salar de Empexa y Laguna Colorada.

En base a ello, las autoridades bolivianas tomaron la decisión de proseguir la exploración geotérmica en estas áreas, encargando la ejecución de los trabajos a la empresa del grupo estatal italiano ENI - AQUATER.

El Ministerio de Minería y Metalurgia, el Ministerio de Energía de Bolivia, la Corporación Andina de Fomento y el Gobierno de Italia, cofinanciaron los estudios de prefactibilidad de estos dos proyectos.

Los trabajos de esta etapa se iniciaron en enero de 1978 y comprenden investigaciones geológico-vulcanológicas, geoquímicas, petrológicas y geofísicas, teniendo como objetivo principal la definición de las características principales del modelo geotérmico de cada área, así como la ubicación de las perforaciones profundas a realizarse en la fase de factibilidad.

Los resultados de los estudios de prefactibilidad serán concluidos durante la segunda mitad del año 1979.

## 2. SINTESIS DE LAS INVESTIGACIONES VULCANOLOGICAS, GEOLOGICAS Y GEOQUIMICAS

La región estudiada está ubicada en el límite occidental y sudocidental de Bolivia y desde el punto de vista morfológico-estructural comprende dos unidades: a) la Cordillera Occidental, constituida por una cadena de imponentes volcanes de edad Plio-Cuaternaria (con altura superior a 6.000 m) que se extiende a lo largo de la frontera con Chile, en dirección aproximada norte-sur; y, b) el Altiplano, que la limita en la parte oriental, con una altura de alrededor de 3.000-4.000 m. (Figura 3).

### 2.1 Estratigrafía

La serie estratigráfica de la región comprende formaciones de edad paleozoica, cretácica, terciaria y cuaternaria. La Cordillera Occidental está enteramente cubierta por rocas volcánicas Plio-Cuaternarias. Datos sobre las formaciones sedimentarias subyacentes sólo se pueden obtener a partir de los afloramientos ubicados en los márgenes e incisiones de erosión o tectónicas del Altiplano.

Los terrenos más antiguos están constituidos por cuarcitas y areniscas limolíticas débilmente metamórficas del Ordovícico. Se trata de una imponente serie clástica, depositada en ambiente de plataforma continental y débilmente metamorfoseada en el curso de eventos tectónicos hercínicos. Estas rocas están intensamente tectonizadas y fracturadas y forman el sustrato de la región.

Esta secuencia paleozoica está cubierta en discordancia por rocas sedimentarias de edad cretácica, constituidas por alternancias de areniscas, calizas, arcillas y margas, con escasos niveles de yeso. Los afloramientos de rocas cretácicas son muy escasos y se ignora si tienen una gran continuidad areal. Estas rocas afloran en el sur y en el norte de Lipez, al este de la Cordillera.

El cretácico está cubierto por poderosas series continentales terciarias, depositadas en enormes cuencas de sedimentación correspondientes a la región del Altiplano. Estos depósitos cambian de facies desde el norte hacia el sur y también en sentido transversal a las cuencas de sedimentación.

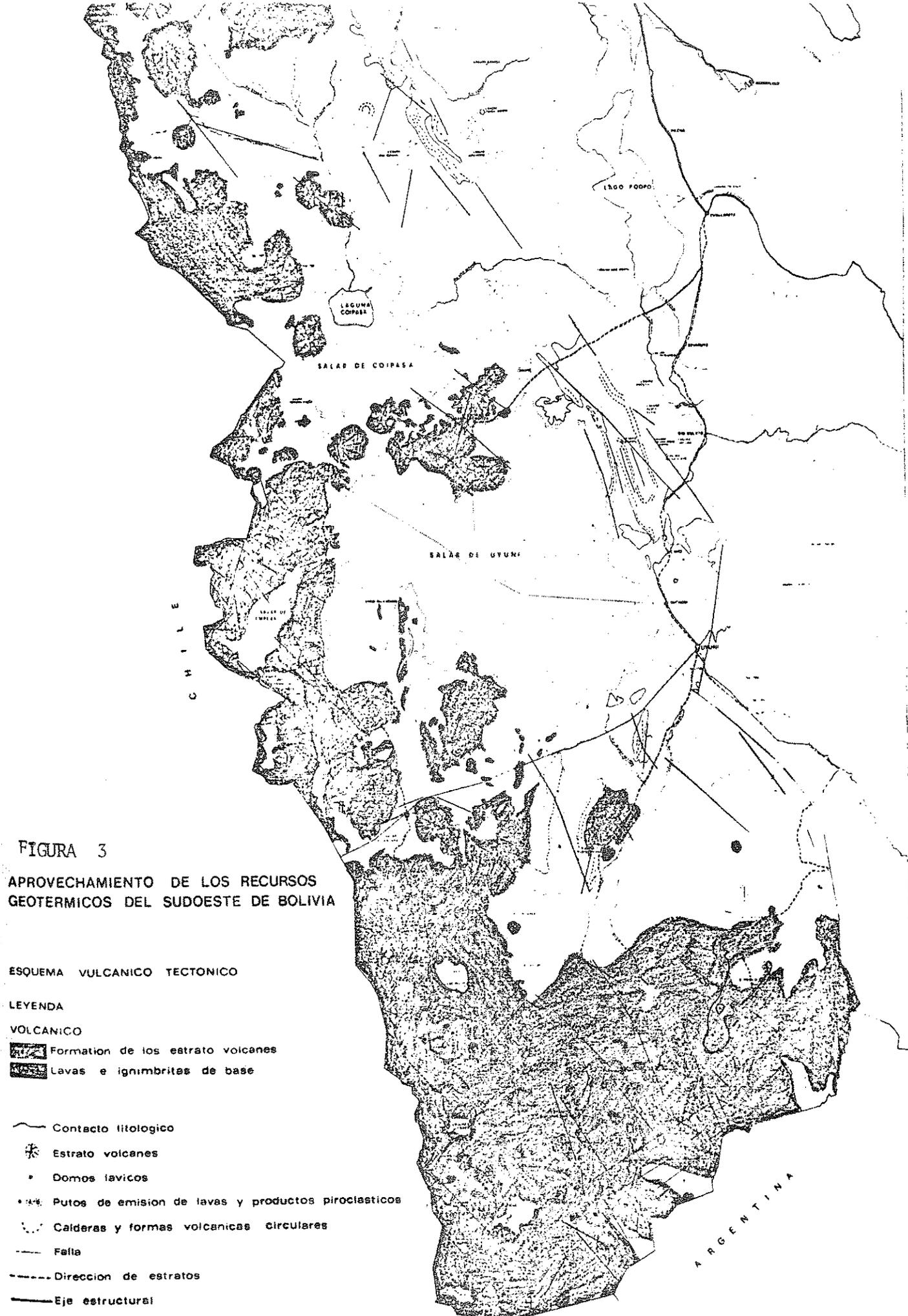


FIGURA 3

APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS GEOTERMICOS DEL SUDOESTE DE BOLIVIA

ESQUEMA VULCANICO TECTONICO

LEYENDA

VOLCANICO

-  Formation de los estrato volcanes
-  Lavas e ignimbritas de base

-  Contacto litologico
-  Estrato volcanes
-  Domos lavicos
-  Puntos de emision de lavas y productos piroclasticos
-  Calderas y formas volcanicas circulares
-  Falla
-  Direccion de estratos
-  Eje estructural

En la parte septentrional de la zona investigada (Altiplano al este del Sajama), el Terciario está caracterizado por la poderosa serie continental perteneciente al grupo del Corocoro (edad Oligoceno-Mioceno). Se trata de una serie prevalentemente arenácea en la base y arcillosa en el techo, con niveles tobáceos en la parte alta. La potencia es superior a 6.000 m y la serie está intensamente plugada. Sobre las rocas del grupo Corocoro se apoyan en discordancia los terrenos de la formación Mauri, constituida por una alternancia de areniscas, tobas, tufitas y conglomerados con elementos tanto cuarcíticos como lávicos. Una intercalación lávica dio una edad de 25.6 m.a.

Esta formación de edad Miocénica y Pliocénica está cubierta en discordancia por las ignimbritas de la formación Pérez, datados con K/Ar en 2.5 m.a., que corresponden a la "formación ignimbrítica" que también más al sur forma la base de los estrato-volcanes, y a la "formación riolítica" de Chile.

En el Lipez la serie continental terciaria comienza con las areniscas y arcillas rojas Eocénicas de la Formación Potoco que se apoyan en concordancia sobre terrenos del Cretácico. Sigue después la formación del Quehua Inferior, oligocénica, formada por areniscas; los conglomerados prevalecen en las partes marginales de las cuencas de sedimentación y las partes más arcillosas en el centro.

La formación del Quehua Inferior está localmente cubierta por una poderosa serie de lavas andesíticas básicas de edad Miocénica Inferior, que representan el primer importante episodio de actividad volcánica en este sector andino. Estas lavas (serie de Rondal) tienen probablemente una extensión sólo local.

Tanto el Quehua Inferior como las lavas de Rondal están deformadas tectónicamente y cubiertas en discordancia por la serie del Quehua superior, cuyo espesor y facies varían considerablemente de una localidad a otra. Esta formación es prevalentemente piroclástica (ash-flows, pumice flows, ignimbritas), pero comprende horizontes redepositados y poco soldados, brechas, conglomerados e intercalaciones de lava. Tiene probablemente un carácter impermeable, al menos en las zonas donde prevalecen ash-flow y piroclásticos redepositados.

Algunos estratovolcanes se formaron hacia el final de la

deposición del Quehua superior y fueron, después, muy erosionadas. La deposición de la formación del Quehua superior probablemente tuvo lugar en un período de tiempo bastante largo, de al menos 10 m.a. Las mediciones radiométricas (de 24.0 a 14.6 m.a.) la sitúan en posición estratigráfica equivalente a la formación de Mauri. Kussmaul y otros (1975) dan una edad de 9.7 m.a. para una ignimbrita ubicada sobre el Quehua superior, pero no se puede excluir que la parte alta comprenda, como para la Formación Mauri, terrenos de edad Pliocénica.

La Formación Quehua superior está débilmente tectonizada y basculada, está recubierta en discordancia por la Formación Ignimbrítica Pliocénica de poco espesor (40 a 80 m.), aunque localmente llega a 200 m. Esta formación está constituida por varias unidades ignimbríticas de composición dacítica, riódacítica y riolítica, y forma coberturas muy extensas. Sobre ella, se levantan los estratovolcanes de la Cordillera Occidental. La Formación Ignimbrítica aflora en toda la zona visitada, siempre en posición estratigráfica equivalente, a excepción de la región de Empexa y del margen occidental del Salar de Uyuni, donde está reemplazada por una serie de lavas de composición prevalentemente riódacítica.

## 2.2 Edad del Volcanismo Reciente

Siendo la mayor parte de los grandes volcanes de la Cordillera Occidental más recientes que estas ignimbritas, la edad de la Formación provee un límite inferior al volcanismo andino. Ya se ha dicho que esta formación (ignimbritas de Pérez), fue datada en 2.5 m.a. (Everden y otros 1966) en la parte septentrional. Una edad de 3.0 m.a. fue encontrada por Sillitoe y otros (1968) para una muestra de ignimbrita de la región de Laguna Verde. En muestras provenientes de la base de la Formación fueron encontradas edades más antiguas (entre 12.6 y 9.0 m.a.) tanto en Chile (Clark et otros 1967) como en el Lipez (Kussmaul et otros 1975).

## 2.3 Principales Fases Tectónicas Post-Cretácicas

Una primera fase tectónica se verifica a fines del Cretácico y se encuentra principalmente en la vertiente occidental de los Andes. Sigue una fase de plegamiento al fin

del Eoceno que afecta la Cordillera Occidental, las zonas intermedias y la Cordillera Oriental. La mayor parte de las estructuras de la cobertura post-hercínica tienen esa edad.

La serie detrítica Pliocénica del Altiplano está afectada por superficies de erosión y una importante fase de plegamiento pliocénico (Quehua). Una débil fase tectónica, probablemente del Plioceno superior, deforma la formación de Mauri y la formación del Quehua Superior en pliegues suaves y con algunas fracturas inversas.

Las ignimbritas pliocénicas están afectadas sólo por tectónica reciente, esencialmente de fractura, a lo largo de los alineamientos de los aparatos volcánicos Cuaternarios.

#### 2.4 Algunos Aspectos Estructurales

En base al estudio de las imágenes del ERTS procesadas según una composición en colores y ampliadas a la escala 1:250.000, se ha elaborado una carta volcano-tectónica, dando particular importancia a los principales lineamientos estructurales relacionados con el volcanismo Cuaternario.

Se han tomado en consideración sólo las fallas y fracturas de importancia regional, coincidentes con algunos aspectos geomorfológicos.

Algunas veces los aparatos volcánicos recientes cubren con materiales eruptados las fracturas que se han originado. Sin embargo, es posible individualizar la localización de dichas fracturas por medio de la distribución lineal de los domos y de los centros de erupción.

En general, las estructuras regionales presentan una dirección de NW a SE en la parte norte, cambiando gradualmente hacia el sur donde presentan una dirección N-NE y S-SE.

Las principales fracturas tienen la misma dirección que la falla de San Vicente, la cual en la región de San Pablo de Lipez, separa las grandes estructuras paleozoicas de los principales aparatos volcánicos, continuando hacia el norte en los sedimentos del Terciario.

Al sur de Uyuni dicha falla cambia bruscamente su dirección hacia el NW, prosiguiendo después del Salar de Uyuni, sobre un sistema de fallas reconocibles también en los sedimentos lacustres.

Sobre algunas fallas, son visibles alineamientos de aparatos volcánicos, algunas veces verdaderas líneas de emisión, como por ejemplo, inmediatamente al N del pueblo de Llinos de Gorci Mendoza, o bien aparatos volcánicos de grandes dimensiones como el Cerro Camacho y el Cerro Quinosa.

Las mayores evidencias de direcciones estructurales han sido encontradas en las ignimbritas de base donde los productos volcánicos recientes no han modificado completamente las características morfológicas.

En la zona ubicada al noroeste de la laguna de Pastos Grandes, la falla de Alota separa las ignimbritas, de una serie de complejos volcánicos formados de centros de emisión y de domos.

La continuación de dicha falla hacia el norte o hacia el sur no es visible, dado que se presenta completamente cubierta de materiales volcánicos recientes. Es importante notar que la falla de Alota sigue exactamente la dirección de la falla de San Vicente.

Fallas menores interceptan la dirección principal determinando la ubicación de algunos aparatos volcánicos, como por ejemplo el Cerro S. Antonio de Lipez.

## 2.5 Petrología

Las lavas que afloran en el suroeste de Bolivia son generalmente porfíricas. Los tipos petrográficos varían entre andesitas y riolitas.

Las andesitas están constituidas por fenocristales de plagioclasia (An 70-80), olivina, augita, hipersteno, minerales opacos y vidrio.

Las riolitas presentan fenocristales de cuarzo, acompañados de plagioclasia ácida (An 20-30), biotita y hornblenda; la pasta es generalmente vítrea con menores cantidades de plagioclasia, biotita, anfíbolo y minerales opacos.

Las variaciones mineralógicas, principalmente la presencia en algunas muestras de plagioclasia ácida y cuarzo en fenocristales y en otras muestras de plagioclasia básica y olivina, coinciden con las composiciones químicas de estas rocas.

Los diagramas (Figura 4) (Irvine y Baragar 1971) evidencian las variaciones de composición entre andesitas y riolitas con prevalencia de riodacitas. Si se utiliza, como hacen algunos autores, para la clasificación de las rocas andinas el doble triángulo de Streckeisen, la composición varía entre latitas (cerca del límite latitas-andesitas), y riolitas (Figura 5).

De estos diagramas se deduce la existencia de una serie de evolución que va desde andesitas (menos evolucionadas) hasta riolitas (más evolucionadas).

Esta evolución es también evidenciada en el diagrama A.F.M. (Figura 6) del cual resulta claramente la existencia de una serie continua de andesitas (con 4.2% de MgO), riodacitas (con porcentaje mucho menor de MgO y más elevado de álcalis) y de algunos términos intermedios.

Esta serie evolutiva llega probablemente hasta las riolitas, pero faltan, entre las rocas analizadas, los términos intermedios entre riolitas y riodacita; esta falta podría ser causada por un defecto del muestreo y, en general, por la escasez de datos disponibles.

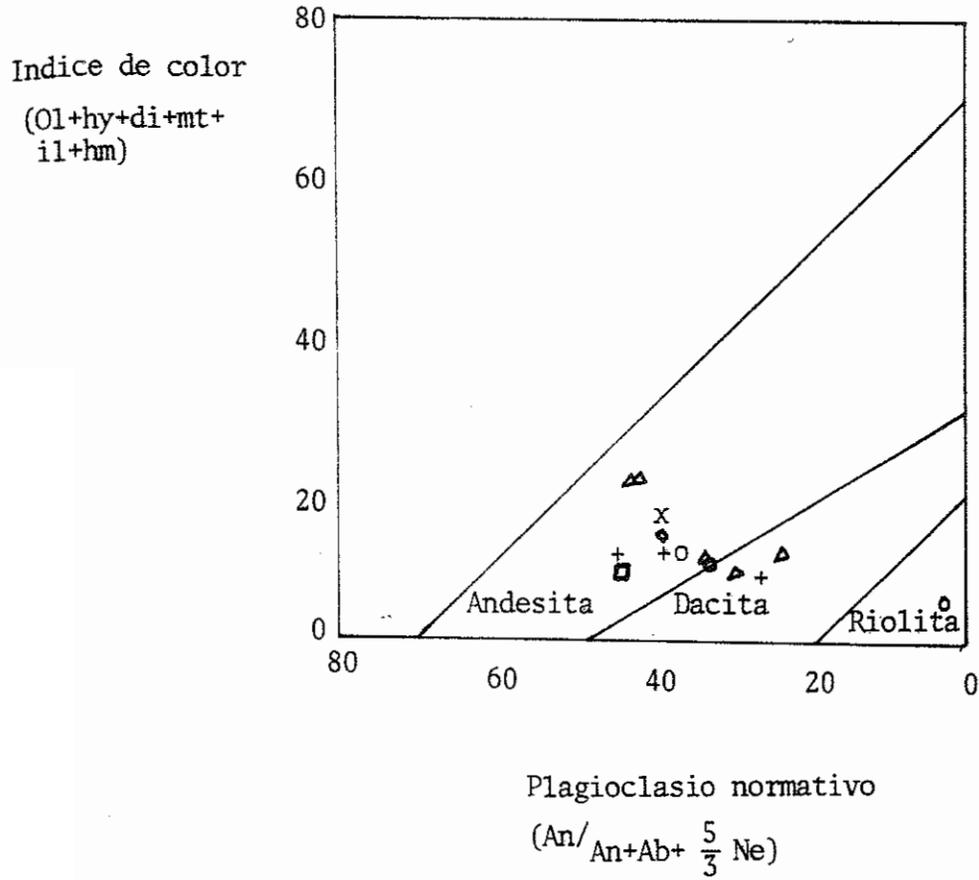
Los resultados de los análisis efectuados tienen un carácter preliminar, y por lo tanto no se pueden formular conclusiones sobre la génesis de estas rocas.

La abundancia de rocas ácidas, y en particular la gran difusión de ignimbritas, hacen suponer un origen por anatexis cortical; pero también se presentan frecuentemente los fenómenos de diferenciación por cristalización fraccionada en los estratovolcanes centrales.

Estos resultados preliminares confirman, por lo tanto, la probable presencia de reservorios magnéticos superficiales, que pueden producir anomalías locales de calor.

FIGURA 4

DIAGRAMA DE CLASIFICACION DE IRVINE Y BARAGAR



LEYENDA (FIGURAS 4, 5 Y 6)

- LLICA
- VALLE DEL EMPEXA
- SALAR DE LA LAGUNA
- LAGUNA COLORADA
- CERRO PABELLON
- LAGUNA VERDE
- VOLCAN OLLAGUE
- SAJAMA

FIGURA 5

DIAGRAMA DE CLASIFICACION DE STRACKEISEN (NORMATIVO)

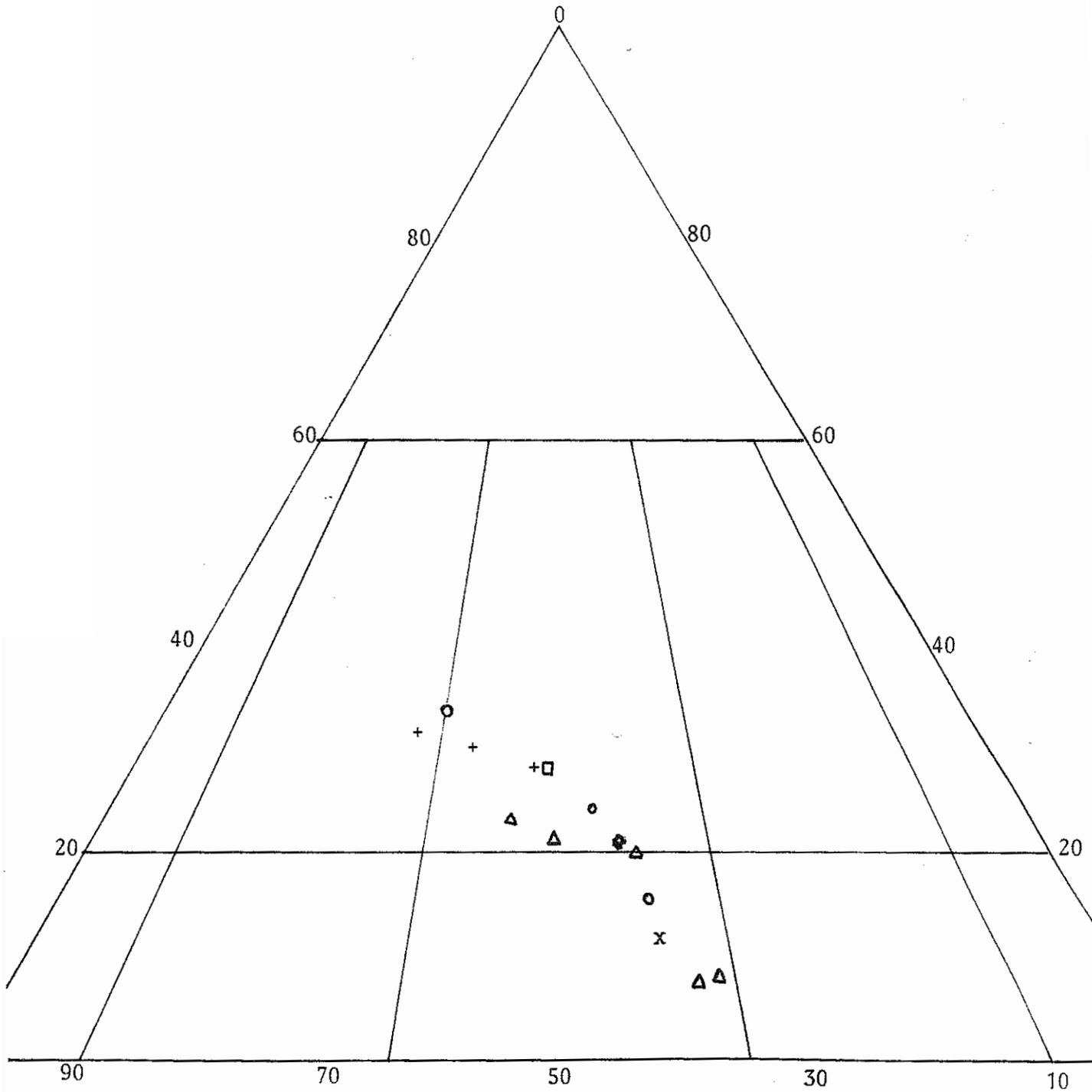
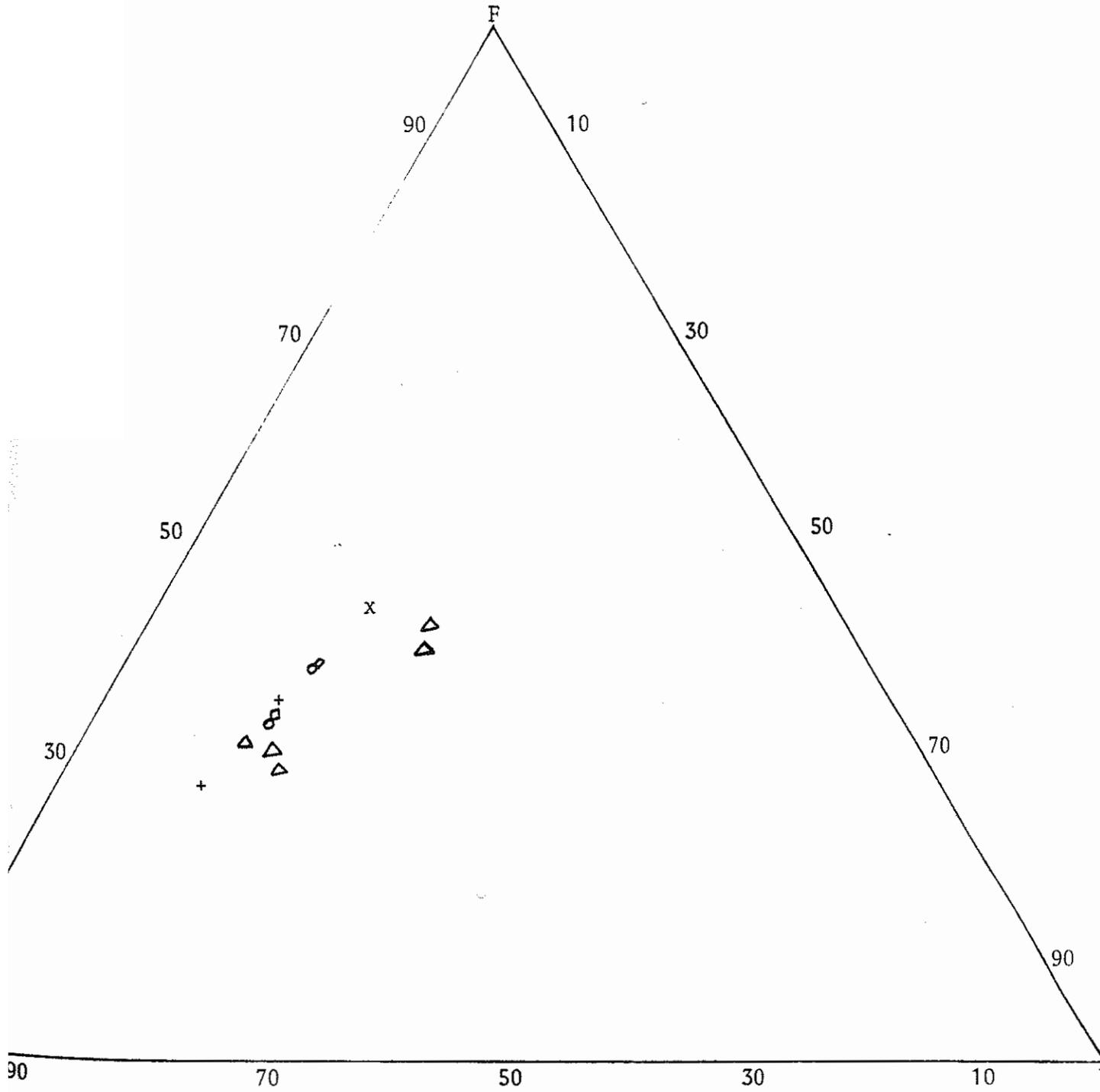


FIGURA 6  
DIAGRAMA DE VARIACION ALCALI, FIERRO Y MAGNESIA



### 3. CONSIDERACIONES SOBRE LA GEOQUÍMICA DE LAS AGUAS TERMALES

Durante la prospección geoquímica preliminar fueron recogidas 22 muestras de aguas, de fuentes termales distribuidas en varias zonas de probable interés geotérmico. El objetivo principal de esta recolección era obtener informaciones e indicios preliminares acerca de la geoquímica de las manifestaciones termales.

Antes de pasar a la exposición de los resultados obtenidos, a partir de los análisis de las aguas y de su relativa interpretación, es necesario subrayar que en una prospección geoquímica como la presente no se puede llegar a resultados, incluso aproximados, que permitan hipotizar un modelo sobre la evolución de la composición química de las aguas, por lo tanto, no permiten tampoco conocer el modelo hidrogeológico el cual, a su vez, es absolutamente necesario para evaluar el potencial de un campo geotérmico. Por otro lado, los resultados obtenidos son muy importantes porque proveen informaciones útiles para elegir las zonas donde programar una prospección de detalle futura, reconociendo, por medio de ellos, las áreas químicamente anómalas que están en relación con objetivos geotérmicos.

En los párrafos siguientes se describen las conclusiones a las cuales se ha llegado en el estudio geoquímico de manantiales termales y fumarolas.

#### 3.1 Clasificación Geoquímica de las aguas

El presente informe se limita a una clasificación descriptiva. Para la clasificación química de las aguas recolectadas ha sido utilizado el gráfico de Langelier-Ludwing (Figura 7). Casi todas las muestras caen, en este gráfico, en el campo de aguas con tipo químico a cloruros y sulfatos alcalinos, excepto las siguientes muestras:

- LC1 con tipo químico bicarbonato-alcalino
- QU1 con tipo químico bicarbonato-alcalino terroso
- PV1 y PV2 con tipo químico sulfato-cálcico

El estudio de una proyección, en el espacio de los puntos del gráfico precedente, en función de sus salinidades, de muestra, como se podía imaginar, que el aumento de salinidad de las aguas se verifica en dirección de los tipos a cloruros o sulfatos alcalinos (Figura 7b).

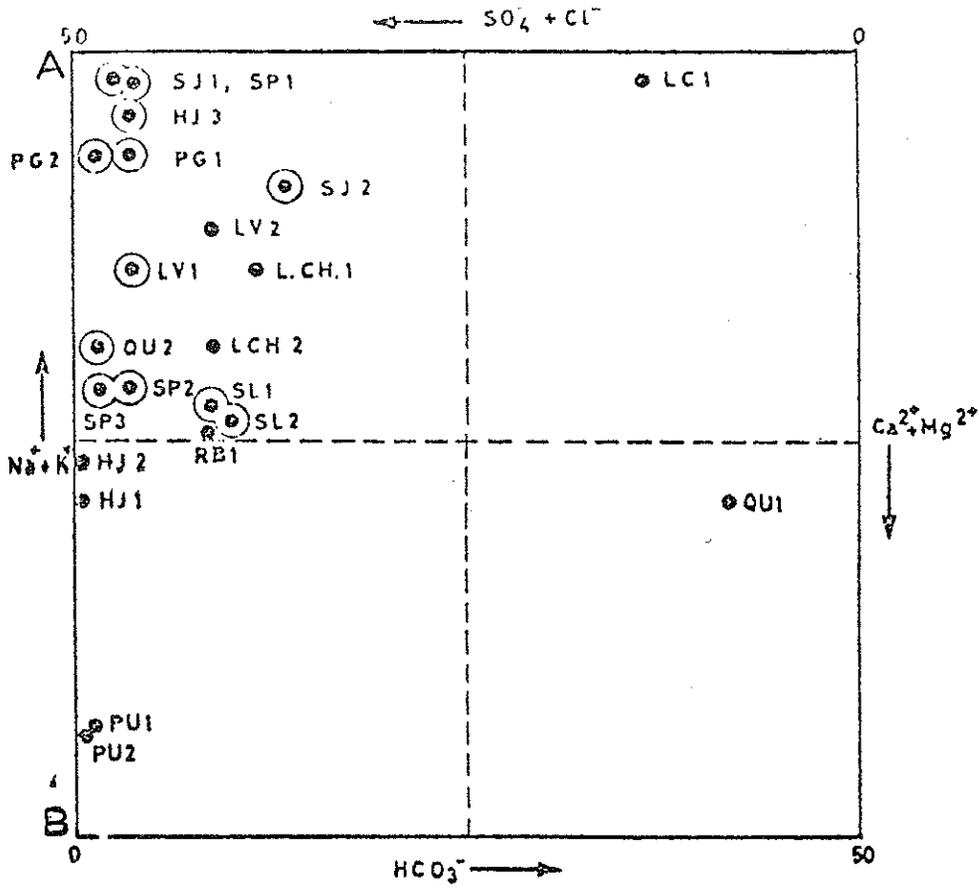


FIGURA 7A

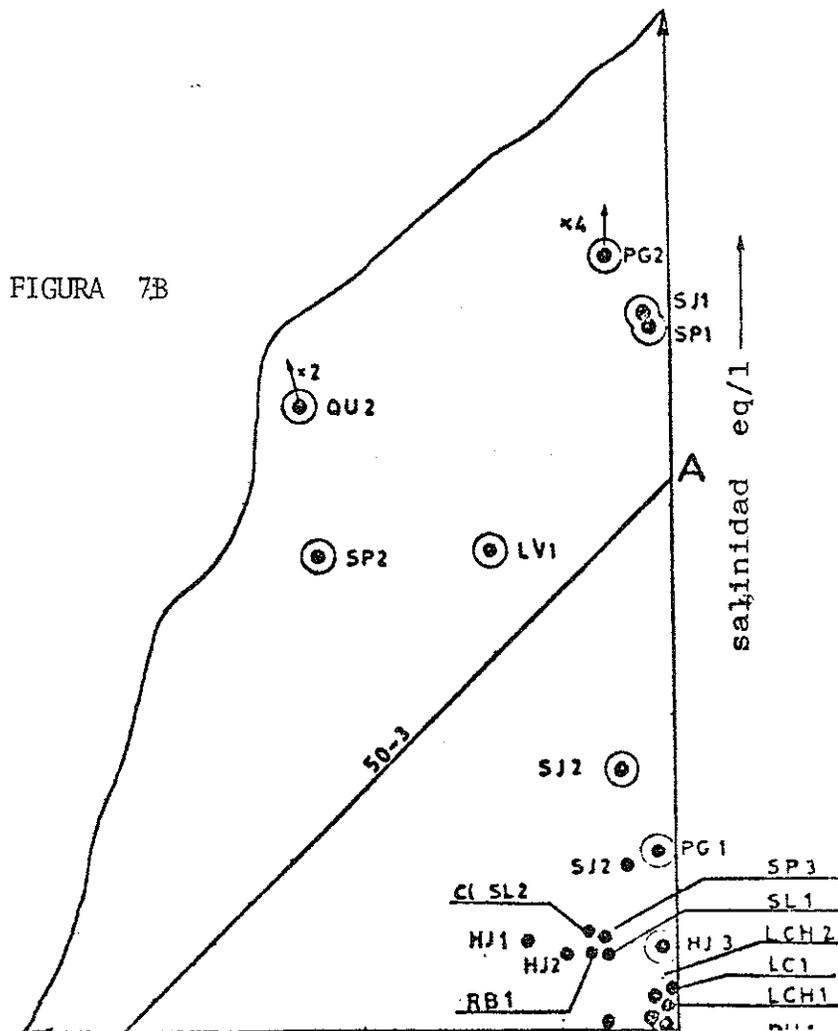


FIGURA 7B

También se puede pensar que las aguas a bicarbonatos (tipo de las muestras LC1 y QU1) se mezclan a los gases de las fumarolas ricos en ácido sulfúrico, derivante de la oxidación del ácido sulfhídrico, y que de este modo se transformen paulatinamente hacia el tipo químico sulfato-alcalino.

Por ejemplo, aguas del tipo de las muestras LC1 y QU1 se pueden transformar en tipos similares al de la muestra LV1 (tipo químico dominante) en caso que siguieran un proceso de este tipo.

Otra probabilidad que las aguas puedan evolucionarse en este modo, se puede verificar cuando exista un dilavamiento de depósitos salinos (aumento de NaCl).

### 3.2 Anomalías y Manifestaciones de Fuga

Con el estudio de las fuentes termales se pueden obtener informaciones útiles respecto a las fugas de sustancias volátiles desde un reservorio.

Los indicadores que revelan estas fugas son:

- 3.2.1 Los gases como el anhídrido carbónico, ácido sulfhídrico, metano, hidrógeno y, según algunos autores, el Helio.
- 3.2.2 Las sustancias claramente volátiles (entre ellas el amoníaco es el único reconocido hasta ahora).
- 3.2.3 Las sustancias poco volátiles y por lo tanto indicativas de altas temperaturas; entre ellas la de mayor importancia es el ácido bórico y en menor medida el mercurio.

El ácido sulfhídrico, al ser oxidado, se convierte en ácido sulfúrico y forma, como tal, anomalías estables. El área estudiada presenta, como muchas áreas volcánicas, anomalías geoquímicas debidas a la emisión de ácido sulfhídrico.

En general las fuentes ácidas contienen casi siempre grandes cantidades de amoníaco, pero las muestras aisladas con

alto contenido de amoníaco no dan más informaciones de las que pudiera dar una fumarola volcánica y por lo tanto es necesario un estudio completo de la distribución del amoníaco para delinear las zonas anómalas requiriendo ésto también, la evaluación de anomalías modestas. Los datos preliminares permiten solo pocas consideraciones sobre la presencia del amoníaco.

De las muestras recogidas, las aguas ácidas, respecto a su temperatura, contienen mucho amoníaco, pero existen también muestras que presentando temperatura media-elevada no lo contienen y ésto nos hace pensar en un calentamiento por conducción de las rocas y no por emisión de vapor geotérmico.

Respecto a la concentración de ácido bórico en las muestras, se pudo verificar una correlación entre éste y la temperatura y, precisamente, que las aguas más calientes son también las más ricas en ácido bórico. Esto podría indicar que este ácido está relacionado con fenómenos de fuga actuales.

Un caso interesante es el de la muestra PU1 (zona Laguna Colorada) que se puede interpretar como una verdadera anomalía de fuga, puesto que es mucho más diluida que las otras muestras y, en particular, del PU2 (Laguna Colorada); tiene un contenido de  $H_3BO_3$  mayor. Se puede hipotetizar que su temperatura podría ser aproximadamente de 200-250°C, admitiendo que sea un agua de condensación y que inicialmente fuera parecida a PU2 (Laguna Colorada) o PG2 (Pastos Grandes).

### 3.3 Conclusiones Geoquímicas

- 3.3.1 Las observaciones de campo ponen en evidencia la existencia de una intensa actividad hidrotermal. Estas observaciones están garantizadas por los datos geoquímicos, en cuanto que éstos también muestran interesantes indicios de emisión de vapores geotérmicos.
- 3.3.2 Las aguas encontradas son probablemente mezclas de aguas saladas y de aguas del tipo bicarbonato-alcalinas y alcalinas terrosas, que se transformaron en el tipo de sulfatos por la oxidación de ácido sulfhídrico.

- 3.3.3 Hay por lo menos un caso (muestra PU1), de una manifestación de fuga debida a subidas de vapor geotérmico desde un acuífero a alta temperatura que, probablemente, se encuentra a más de 200°C.

#### 4. DESCRIPCION GEOLOGICA DE LAS AREAS MAS FAVORABLES

Como fue mencionado en la Introducción, los resultados del estudio de reconocimiento permitieron la selección de siete áreas de interés geotérmico de alta entalpia.

Dos de éstas (Valle del Río Empexa y Laguna Colorada), fueron sucesivamente seleccionadas, sea por motivos técnicos sea por consideraciones logísticas y económicas, como áreas de interés prioritario, donde se debían continuar las investigaciones geotérmicas (prefactibilidad). La fase de prefactibilidad empezó en enero de 1978.

En los párrafos siguientes se esquematiza la situación geológico-vulcanológica de las dos áreas prioritarias, basándose en el estudio de reconocimiento.

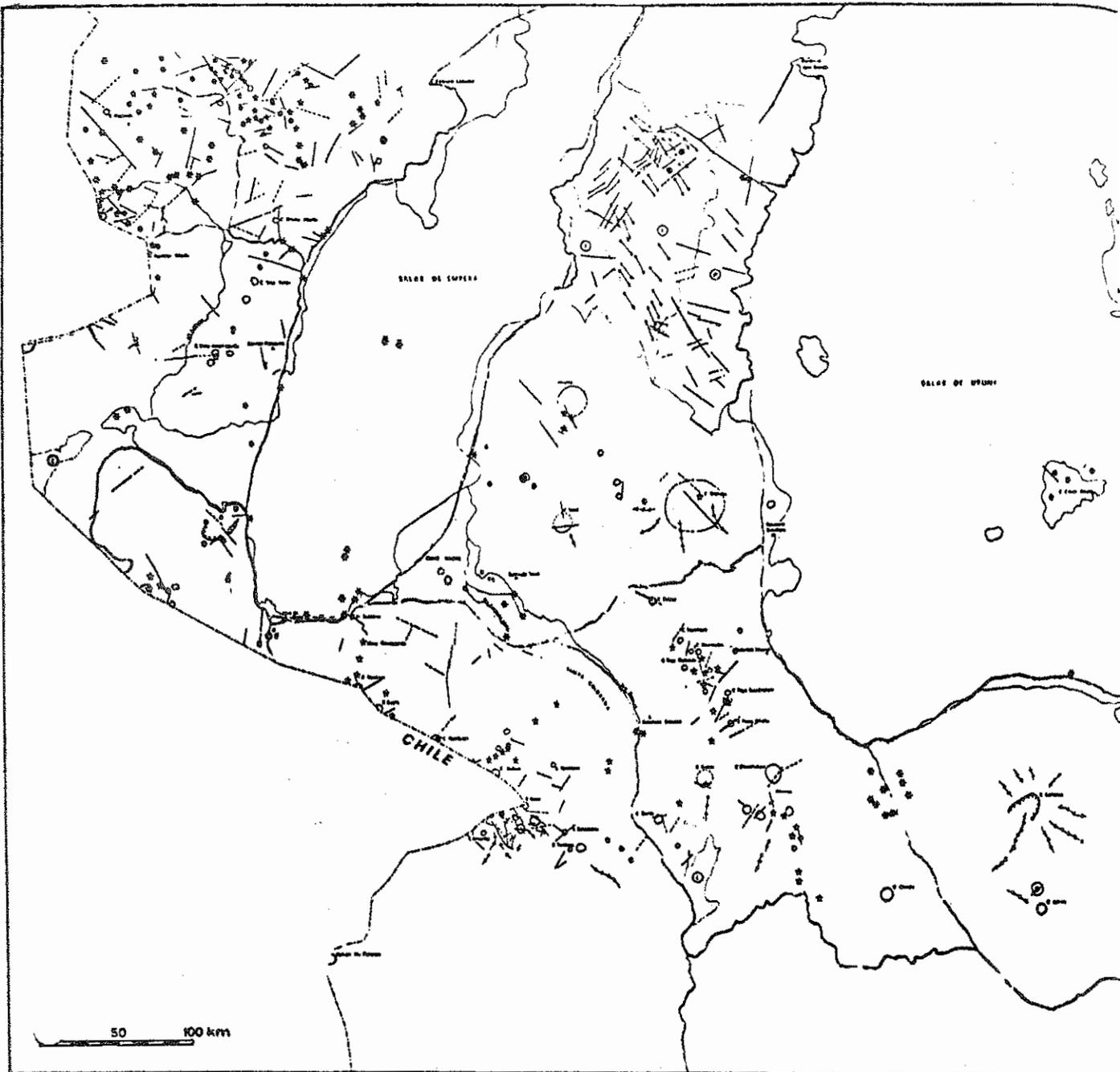
##### 4.1 Valle del Río Empexa

Contrariamente a lo que pasa en numerosas regiones del norte de Lipez, y que por lo tanto parece ser una característica típica de la Cordillera Occidental, en esta zona no se observan ignimbritas tabulares debajo de los volcanes centrales recientes.

Las rocas más antiguas que afloran en esta área, observadas por ejemplo en la faja del margen occidental del Salar de Uyuni entre Canquella y Cerro Mancha y en el Valle de Empexa, están constituidas por una serie lávica que cubre una serie piroclástica a veces reelaborada.

En la zona de Canquella esta serie está constituida por alternancias de tobas reelaboradas, brechas y lahars. El espesor visible es de aproximadamente 150 m. Se observan intercalaciones de lava no muy potentes.

Esta serie piroclástica está profundamente arcillificada y ciertamente representa una óptima cobertura. En la zona de la Estancia Empexa el piroclástico ubicado debajo de las lavas está constituido por un banco de aproximadamente 3 m de espesor de escorias con "lapilli" de lava que cubre un potente banco de pumicita con matriz cinerítica arcillificada.



MAPA VULCANO-TETTONICA - VALLE DEL RIO EMPESA

LEYENDA

- Fallas
- - - Fallas inciertas
- ⊂ Estructuras de colapso (volcano tectonicas)
- Volcanes centrales (domos esogenos estratos vulcanes)
- Conos de escoria y piroclasticos
- ⊙ Domos pequeños
- ⊙ Domos endogenos
- ⊙ Manantiales
- ⊙ Areas de alteracion hidrotermal fumarolica
- ✓ Valles glaciares (?)
- ⊙ Fumaroles
- ⊙ Crateres de explosion freatica
- - - Zonas de intensa fracturacion
- ⊙ Limite de formacion Sedimentario
- ⊙ Piroclasticas de base
- ⊙ Lavas de base
- ⊙ Ignimbritas

FIGURA 8

Este contiene muchos incluidos generalmente de pequeñas dimensiones. Se observan entre los incluidos numerosas lavas silicificadas, hidrotermalizadas y lavas frescas, ya sean porfíricas o no. El horizonte de pómez que las contiene pertenece a uno o más "pumice flows" que descienden en la zona comprendida entre el Cerro Tirani y Paja Sombreruri, rellenando parcialmente el valle. Otras coladas piroclásticas similares se observan entre el Cerro Paja Sombreruri y el Cerro Khenwani. Una gruesa colada de fango con material cinerítico incoherente y grandes bloques de lava desciende del Cerro Milluri y del Cerro Tankhani hasta el fondo del Valle, formando la Pampa Colorada.

Estas últimas coladas de lahar son posteriores a los primeros estratovolcanes pero anteriores a los últimos episodios eruptivos, contribuyendo a formar, junto con los niveles piroclásticos más antiguos, una cobertura impermeable eficaz en el Valle de Empexa.

La serie lávica que forma el substrato de los aparatos centrales más recientes se presenta localmente muy erosionada. Sus relaciones estratigráficas con las ignimbritas, que en otro lugar ocupan la misma posición, no son conocidas. Estas ignimbritas afloran en Chile inmediatamente al oeste de los volcanes centrales situados en la frontera, y comienzan a aflorar también un poco más al sur a lo largo del Valle del Río Cana.

Sin embargo, y a pesar de aflorar más a menudo los productos más antiguos, los piroclásticos y las ignimbritas de base no son ciertamente los primeros episodios del volcanismo en este sector de los Andes, como está demostrado por la frecuencia de los incluidos lávicos.

Los caracteres vulcanológicos principales de esta región consisten en el desarrollo de aparatos centrales poligénicos, a menudo complejos, que muestran frecuentemente dos fases principales de actividad.

En primer lugar se forman estratovolcanes con alternancia de productos piroclásticos y lavas. Esta fase termina frecuentemente con un colapso caldérico en la cumbre. En las calderas o en sus proximidades se instala una intensa actividad solfatárica.

La segunda fase corresponde a una reiteración de la actividad volcánica con formación, a menudo, de nuevos centros

eruptivos ubicados al interior de la caldera. También es frecuente la explosión de domos viscosos. En la zona considerada, se observa aparatos recientes en el Cerro Gordo, Cerro Tisani, Cerro Khenwani, Cerro Cono, Cerro Tankhani, Milluri, Cayte, Mancha y el Cerro Pabellón.

Desde el punto de vista estructural, la región está caracterizada por lineamientos de dirección NW predominantes y por trends menores con dirección NE y ENE. Estos lineamientos corresponden frecuentemente a alineamientos de aparatos eruptivos tanto poligénicos como monogénicos, y tienen una edad muy reciente porque cortan también los productos más modernos de los estratovolcanes. En la región de Empexa se observan varios puntos de surgencia de manifestaciones termales, además de grandes zonas de alteración por obra de viejas sulfataras.

#### 4.1.1 Fuente Towa

Aflora cerca del centro del valle situado al sur de la Estancia Towa. El caudal es de 3-4 lt/seg; alrededor de la fuente se observan incrustaciones blancas de sílice.

La forma de la boca, la extensión de la zona incrustada y las descripciones de los habitantes de la zona, indican que el manantial tiene, o ha tenido, actividad de geysir. La temperatura es de 86°C, equivalente a la temperatura de ebullición correspondiente a la cota y salinidad. Esto está confirmado por las numerosas pequeñas fugas de vapor a la misma temperatura que se observan sobre el lado norte del Cerro Picoloro en una zona intensamente fumarolizada y silicificada, donde se encuentra Mina Concepción.

#### 4.1.2 Fuente Empexa

Surge a 3.920 m de altura y alimenta el Río Empexa. Tiene una temperatura de 35°C y un caudal de 20-30 lt/seg. Produce incrustaciones cerca de la boca de salida y deposita sílice microcristalino (opalo) también a lo largo del valle. El manantial surge en el contacto entre una colada

andesítica fisurada y el piroclástico impermeable, que más abajo está al pie del Cerro Tirani. El manantial no surge en el fondo del Valle sino a algunas decenas de metros más arriba. Podría, por lo tanto, corresponder a ascensos de aguas superficiales que fluyen a través de los estratos volcánicos y se detienen sobre el piroclástico impermeable. Si se confirma este hecho, indicaría una notable anomalía térmica en correspondencia con los aparatos volcánicos recientes. Las observaciones de variaciones de temperatura y salinidad en el período de las precipitaciones permitiría evaluar el significado hidrológico de este manantial.

#### 4.1.3 Manantial de la Estancia Beatríz

Está ubicado cerca del Salar de Empexa al norte del Cerro Picoloro, volcán reciente que culmina en una cúpula fumarolizada. La cota es de 3.750 m, la temperatura es 31°C y el caudal, modesto, de 1-2 lt/seg.

La región del Valle del Río Empexa es una de las más promisorias de la Cordillera Occidental. En efecto, el valle está rodeado por volcanes recientes.

El tipo diferenciado de los magmas eruptados en una época muy reciente y la presencia de numerosas manifestaciones termales, indican que la zona es sede de una importante anomalía térmica. La Fuente Towa y las manifestaciones de vapor de la Mina Concepción están evidentemente relacionadas a un acuífero en ebullición, probablemente calentado por ascensos de fluidos calientes de un reservorio geotérmico.

La posible presencia de fluidos a alta temperatura en el sustrato está, además, indicada por la frecuencia de xenolitos hidrotermalizados observados en el muestreo tanto en las ignimbritas como de los horizontes explosivos. Como ya se ha discutido precedentemente, también la situación geológica del manantial de Empexa señala la presencia probable de una importante anomalía térmica.

Es seguro, además, la presencia de una cobertura impermeable, representada por niveles piroclásticos más o menos soldados y arcillificados y por las coladas de fango que descienden desde los estratovolcanes hacia el Valle. El cuadro hidrologico parece ser bastante favorable, circundando el Valle por la presencia de relieves volcánicos que deberían asegurar una adecuada recarga hídrica no obstante, el hecho de que la ausencia de datos cuantitativos sobre el régimen de las precipitaciones impida efectuar un balance de la circulación.

La búsqueda preliminar de cráteres de explosión freática no ha permitido la identificación segura de estructuras de este tipo. Se debe señalar la presencia, al pie del volcán Towa, poco al norte del manantial homónimo, de algunos cráteres de explosión. El más grande tiene vagamente una forma elíptica con el eje mayor de más o menos 200 m y el menor de aproximadamente 100 m. Está abierto hacia el sur y parcialmente llenado por depósitos evaporíticos y lacustres del Salar. El borde está formado por escorias de pequeñas dimensiones, bloques de lava porfírica u otras de naturaleza prevalentemente andesítica y de materiales piroclásticos varios.

La abundancia de productos piroclásticos en el substrato, parecidos a aquellos observados en el borde, impide establecer si estamos en presencia de un cráter de explosión freática o freatomagmática.

El problema principal de la exploración geotérmica en esta zona está representado por la ausencia de datos estratigráficos del subsuelo. Por lo tanto, resulta imposible establecer la existencia de un reservorio permeable y su profundidad y naturaleza. Por lo tanto, se ignora el espesor compresivo de las rocas volcánicas y la naturaleza del substrato. Entre los incluidos hasta ahora examinados, no se han encontrado rocas de tipo no volcánico. Los afloramientos más cercanos de rocas del substrato se encuentran en la península alargada en sentido norte-sur del borde sud-occidental del Salar de Uyuni.

Un objetivo primario de la futura exploración en esta área deberá ser la reconstrucción geológica de la serie estratigráfica y la determinación de los espesores y permeabilidad de las diversas formaciones.

#### 4.2 Laguna Colorada - Salar de Challviri (Figura 9)

Esta es una de las regiones más interesantes desde el punto de vista geotérmico de toda la Cordillera Occidental. La situación vulcanológica es igual a aquella de la parte más al norte y está caracterizada por un plato ignimbrítico sobre el cual se alzan volcanes centrales más o menos de morfología reciente.

El trend estructural dominante es todavía NW, evidenciado por alineamientos de aparatos volcánicos de varias dimensiones que cortan las ignimbritas. La zona de Laguna Colorada tiene la morfología de una cuenca rodeada en sus tres cuartas partes por ignimbritas.

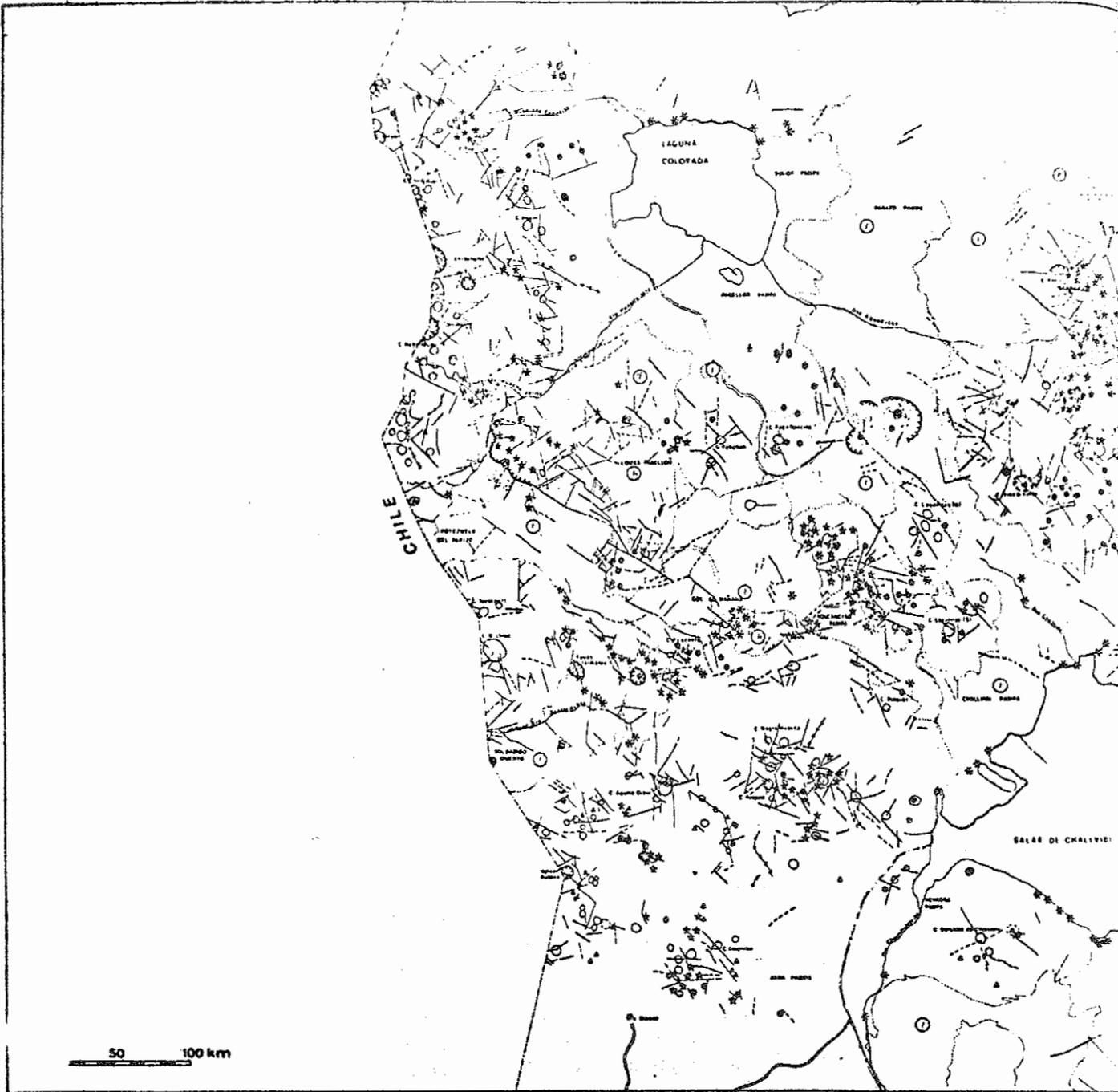
Los aparatos volcánicos más recientes son el Cerro Pabellón y el Cerro Pabelloncito, de pequeñas dimensiones.

Bastante recientes son también los grandes volcanes centrales Cerro Laguna Colorada y Cerro Negro, éste último con una base pre-glacial. Otra serie de aparatos recientes (Cerro Panizo, Viscachillas, Lagunitas), se observa al este y sudeste de Laguna Colorada, separados en la laguna por una decena de kilómetros de ignimbritas.

Aproximadamente a 10 Km al oeste de la Laguna surge luego la imponente serie de estrato-volcanes recientísimos, situados a lo largo de la frontera con Chile.

Muy semejante es la situación volcánica del Salar de Challviri, también ubicado sobre ignimbritas y con numerosos aparatos volcánicos centrales de edad más o menos reciente, como el Cerro Beratera de Challviri, el Cerro Negra Muerta y el Cerro Polques. Aproximadamente a 20 Km al oeste de Laguna Salada se encuentra el imponente volcán activo Putana.

En esta área existen dos importantes zonas de actividad termal. La primera está situada al SW de Laguna Colorada y al E del Cerro Huahilla Jarita. Se trata de un imponente campo fumarólico a 4.810 m de altura, colocado sobre



MAPA VULCANO-TETTONICA - LAGUNA COLORADA

LEYENDA

- Fallos
- - - Fallos inciertas
- Estructuras de colapso (volcano tectonicas)
- Volcanes centrales (domos esogenos)
- Conos de escoria y piroclasticos
- ⊙ Domos pequeños
- Domos endogenos
- ⊙ Manantiales
- ⊙ Areas de alteracion hidrotermal fumarolica
- Valles glaciares (?)
- Fumaroles
- ⊙ Crateres de explosion freatica
- Zonas de intensa fracturacion
- Limite de formacion Piroclasticas
- ⊙ Ignimbritas de base

FIGURA 9

una fractura de dirección NW-SE situada a corta distancia de otra fractura paralela que ha originado dos pequeños aparatos volcánicos recientes muy cerca al N del Río Huahilla Jara. El campo se extiende por algunos centenares de metros y consiste en agua hirviente, pequeños volcanes de barro, caracterizados por frecuentes explosiones de bolas de vapor y que forman una serie de pequeños hornos (hornitos) de barro.

El substrato está representado por las ignimbritas que contienen numerosos incluidos, prevalentemente lávicos. La temperatura de las manifestaciones termales varía de 78°C a 85°C. La temperatura más elevada fue tomada en el vapor proveniente de hornitos de fango.

Las aguas muestreadas (HJ 1 y HJ 2) tienen temperaturas de 79°C y pH 5. Además del vapor existen emanaciones de H<sub>2</sub>S e incrustaciones, así como deposiciones de azufre y cloruros de hierro. Muy parecida es la zona de manifestaciones solfatáricas y agua hirviente de Aguita Brava, situada al NW de Challviri. Aquí, se observan dos grupos de manifestaciones separadas 850 m una de la otra, extendidas sobre un frente de 500 m pero con señas de actividad fósil mucho más amplia. También, estas manifestaciones están colocadas sobre fracturas de dirección NW que cortan la serie ignimbrítica. Se trata de manantiales de agua hirviente con numerosos pequeños volcanes de fango, hornitos, con manifestaciones de vapor y H<sub>2</sub>S. La altura es de 4.880 m. La máxima temperatura es de 84.5°C (medida en el vapor).

Las muestras recogidas representan respectivamente agua a 79°C y con pH 5 sobre las fracturas orientales (PU 1), y el producto de condensación de un brote de fango y vapor (PU 2) constituido prevalentemente por sulfato hidrato de aluminio.

En proximidad de la zona hidrotermal hay volcanes muy jóvenes como el Cerro Aguita Brava, que presenta vistosas manifestaciones de actividad solfatárica fósil.

Otras importantes manifestaciones hidrotermales, ya inactivas, se observan en correspondencia con el gran volcán poligénico del Cerro Polques y sobre la prolongación meridional de la zona activa.

Se encuentran, también en proximidad de Laguna Colorada y

de Laguna Salada, algunas fuentes termales. La primera (HJ 3) es agua dulce que aflora en un charco en el límite occidental de la Laguna y tiene una temperatura de 20.5°C.

En la zona del Salar de Challviri las aguas termales son más numerosas y mantienen líquida la parte occidental del Salar (Laguna Salada). En cota 4.430 m cerca de la Laguna se han recogido dos muestras de agua, la primera de un manantial con caudal inferior a 1 lt/seg. a temperatura de 29°C (LCH 1); la segunda con temperatura de 36°C y caudal de 3-4 lt/seg. y pH 7 (LCH 2).

Existen varios indicios de que en la zona comprendida entre Laguna Colorada y Salar de Challviri, particularmente la zona que se encuentra al este de la frontera, es sede de una anomalía térmica importante. Estos indicios incluyen la presencia de numerosos centros volcánicos recientes que han eruptado lavas de composición andesítica o riódacítica, algunos de los cuales son activos (volcán Putana), y la presencia de las importantes manifestaciones termales descritas. Estas están ciertamente relacionadas a un acuífero en ebullición, quizás calentado por fluidos geotérmicos que suben nuevamente a lo largo de las fracturas.

La zona térmicamente anómala es muy vasta y comprende las manifestaciones de las dos Lagunas, con termalidad más baja.

No obstante que no se han observado, en el curso de la misión, fracturas en las ignimbritas, que pusieran en evidencia el subestrato, se supone probable la existencia, también en esta zona, de depósitos piroclásticos más o menos arcillificados y ubicados por debajo de las ignimbritas, capaces de ofrecer una eficaz cobertura. Esto está indirectamente indicado, por ejemplo, por el hecho de que todos los manantiales de agua termales están siempre ubicados en correspondencia con las fracturas. Esto es válido también para las manifestaciones fósiles. Hay que subrayar, además, que cada fractura observada durante la misión, se ha revelado sede de manifestaciones termales activas y fósiles, lo cual indica que existe una vasta zona de circulación de fluidos calientes en el subsuelo y que éstos logran llegar a la superficie sólo cuando una fractura corta la cobertura impermeable. El cuadro hidrogeológico es más complejo que en la zona del Salar de la Laguna y del Salar de Empexa, faltando aquí, aparte de las áreas restringidas, ocupadas por las lagunas, las características morfológicas de una cuenca rodeada por relieves.

La zona de las manifestaciones más importantes, comprendida entre Cerro Negro y Cerro Aguita Brava, no corresponde en efecto a una cuenca, sino más bien a un declive que desciende desde los relieves volcánicos de la frontera hacia las lagunas, frecuentemente afectado por pequeños aparatos volcánicos centrales. En todo caso, los importantes relieves localizados al oeste de la zona termal representan ciertamente una zona de recarga. Finalmente, se debe señalar que un poco al oeste de esta zona se encuentra el campo geotérmico chileno de El Tatio, en el cual ya han sido perforados los primeros pozos productivos.

En esta zona tampoco se conocen las características del substrato y por lo tanto no es posible, por el momento, hipotizar un reservorio preciso. Pero hay que considerar que algunas decenas de Km al este aflora la serie Terciaria ubicada por debajo de las ignimbritas. Cerca de Quetana se observa una serie de "ash-flow" y depósitos volcánico-sedimentarios no solidificados equivalentes a las formaciones del Quehua Superior y que representan ciertamente un óptimo horizonte impermeable de cobertura. Por debajo aflora la serie del Quehua Inferior, sedimentaria, constituida en prevalencia por bancos arenosos rojos con intercalaciones de conglomerados. En la zona al N de Quetana esta serie es sub-horizontal, pero más allá, en el Lípez, está frecuentemente tectonizada.

La abundancia de material detrítico, en particular los horizontes de gujarros, debería indicar una buena permeabilidad. El problema que se debe todavía evaluar es, cuánto se extiende esta serie hacia el oeste, cuál es su espesor y a qué profundidad se encuentra, debajo del volcánico superficial.

## 5. CONCLUSIONES

La metodología de exploración aplicada en Bolivia, corresponde a las recomendaciones de la Organización Latinoamericana de Energía, OLADE, contenidas en el documento "Metodología de Exploración Geotérmica en Areas Volcánicas".

Hasta la fecha se realizó la fase inicial (Estudio de Reconocimiento), que consistió esencialmente en estudios geológicos y vulcanológicos regionales, integrados por estudios preliminares de la geoquímica de las fuentes termales.

El estudio permitió la selección de algunas áreas de interés prioritario, de aproximadamente 1.000-1.500 Km<sup>2</sup>; solamente en un caso el área seleccionada tiene dimensiones mayores (3.000 Km<sup>2</sup>).

El estudio se llevó a cabo rápidamente (6 meses, inclusive la elaboración de los datos y presentación del informe final), aunque los datos disponibles sobre la geología de la Cordillera Occidental eran bastante escasos.

En dos de las áreas seleccionadas se están llevando a cabo investigaciones vulcanológicas, geológicas, geohidrológicas, geoquímicas y geofísicas. Estos estudios deberán permitir en 1979, ubicar los primeros pozos exploratorios profundos.

Los estudios ya realizados son muy alentadores y nos permiten considerar, con optimismo, la posibilidad de utilizar en Bolivia la energía geotérmica. Este recurso puede ser una importante contribución al desarrollo económico de zonas mineras localizadas en regiones aisladas con respecto a los centros de producción de la energía eléctrica tradicional.

Como ya se mencionó, la metodología de exploración recomendada por OLADE corresponde perfectamente a la que se está aplicando en Bolivia.

Basándose sobre esta experiencia hay que subrayar la importancia del "estudio de reconocimiento" que constituye una fase muy delicada de la exploración geotérmica, puesto que de su correcta planeación y ejecución depende todo el futuro desarrollo de la exploración, ya que determina el éxito o el fracaso de un proyecto geotérmico.

115

COLOMBIA

ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACION  
GEOTERMICA EN COLOMBIA

Ministerio de Minas y Energía -  
Instituto Colombiano de Energía  
Eléctrica

INVESTIGACION  
GEOTERMICA  
COLOMBIA

CONTENIDO:

1. INTRODUCCION
2. UBICACION DE LA ZONA DE INVESTIGACION
3. MANIFESTACIONES TERMALES
4. CONSIDERACIONES GENERALES Y CONCLUSIONES
5. PROGRAMA DE ESTUDIOS

## ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACION GEOTERMICA EN COLOMBIA

El aumento en los precios internacionales de los combustibles fósiles ha ocasionado un rápido incremento en el costo de la producción de energía eléctrica mediante técnicas convencionales. Teniendo en cuenta esto, Colombia está orientando la política del sector eléctrico no sólo para mantener su condición de autoabastecimiento, sino de disponer entre las diferentes fuentes de sus recursos naturales, del mayor número posible de opciones que le permita al país seleccionar la alternativa más ajustada a las circunstancias de su desarrollo.

Entre estos recursos naturales, tenemos los geotérmicos que en Colombia son probablemente muy abundantes en la zona occidental del país, particularmente en la Cordillera Central.

Con el fin de estudiar si, y en qué medida, los recursos geotérmicos pueden contribuir a la producción de energía eléctrica en Colombia, el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica (ICEL) en 1968, a través de su filial Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. (CHEC) solicitó la colaboración del ENTE NAZIONALE PER L'ENERGIA ELETTRICA DE ITALIA (ENEL) para llevar a cabo una investigación preliminar en la región del Macizo Volcánico del Ruiz y evaluar las posibilidades de un desarrollo geotérmico para la producción de energía eléctrica.

Con tal objeto llegó a Colombia el doctor Rafaele Cataldi, geólogo Jefe del Sector Geotérmico de la Dirección de Estudios e Investigaciones de ENEL, para examinar directamente la zona. La duración de la misión fue de 49 días incluyendo los viajes desde y hasta Roma a partir del 27 de octubre de 1968 hasta el 12 de diciembre del mismo año.

Como resultado de la investigación, ENEL presentó el Proyecto de Investigación Geotérmica en la región del Macizo Volcánico del Ruiz, noviembre 1968 - mayo 1969, el cual se resume a continuación:

### UBICACION DE LA ZONA DE INVESTIGACION

La zona de investigación está comprendida entre la latitud  $4^{\circ}.26'$  y  $5^{\circ}.46'$  N y la longitud  $74^{\circ} 49'$  y  $75^{\circ} 43'$  W incluyendo todo el Departamento de Caldas y parte de los Departamentos limítrofes de Antioquia, Risaralda, Quindío y Tolima con una superficie total de  $15.000 \text{ Km}^2$  (ver Figura 1).



## FISIOGRAFIA

Como característica fisiográfica muy importante, se destaca en el área la presencia de una dorsal morfológica principal (Cordillera Central) que separa las depresiones tectónicas de los valles del Magdalena al oriente y del Cauca al occidente.

## GEOLOGIA

En la depresión del Magdalena los terrenos están constituidos por areniscas, conglomerados, limolitas, arcillas y tobas. Se interpretan como sedimentos depositados en una cuenca continental de ambiente fluvio-lacustre a partir del pleistoceno (?) (formación Honda y Mesa).

Infrayaciendo las formaciones Honda y Mesa aparece un complejo sedimentario disturbado desde el Cretáceo al Plioceno, depositado como productos clásticos gruesos y delgados (calizas y margas, etc.) de ambiente marino-litoral, evaporítico-lagunal y acaso fluvio-lacustre. Ocurrió transgresión marina en el Huateriviano (BURGL, 1961, Historia Geológica de Colombia).

En la Depresión del Cauca, arenisca, arena y conglomerados con matriz de color pardo cubiertos por conglomerados con matriz arenosa, arenas compactas, arcillas margosas, areniscas y piroclastos, el miembro superior con niveles de carbón correlacionable con los niveles carboníferos del Departamento de Antioquia.

Los terrenos continentales más antiguos son del Oligoceno al Mioceno inferior, los cuales son separados por una discordancia, de los terrenos de edad Plio-pleistocena.

En la Cordillera Central (dorsal morfológica principal), aparecen rocas ígneas intrusivas del Cretáceo Superior o más recientes. También aparecen productos volcánicos pertenecientes al "tercer ciclo magmático" (BURGL, 1961) posterior a los cuerpos intrusivos mencionados y hacen referencia a intensa actividad efusiva en ambiente subaéreo iniciada quizás a fines del Oligoceno y continuada hasta nuestros días.

Están presentes en la Cordillera Central y en el área de investigación, rocas metamórficas antiguas, las que han estado sujetas a los eventos del último corrugamiento andino (Cretáceo-Terciario) y de por lo menos uno de los corrugamientos precedentes, con pliegues normales doblados, desmembrados en fragmentos tectónicos de diferentes tamaños que se superponen formando una típica estructura desarticulada, característica del esfuerzo compresivo. El corrugamiento va definitivamente

atenuándose en el Mioceno superior y los terrenos Pliocénicos (discordantes) están débilmente plegados (o exentos) con arreglo tabular, característico de bloques dislocados por fallas directas.

Una tectónica de estilo rígido, esencialmente distensiva, substituyó en la zona a la tectónica compresiva, a partir "grosso modo" del Plioceno.

En el Plioceno la tectónica rígida debió ser muy intensa, debido a los hundimientos de bloques de varios tamaños de los sinclinatorios del Magdalena y del Cauca (ya predispuestos por la precedente tectónica compresiva) y el alojamiento en forma más activa y continuada de los depósitos magmáticos sepultados con el consiguiente desbordamiento de vulcanitas y tobas. De esta manera la presencia de fallas distensivas facilitó el ascenso de cuerpos magmáticos sepultados, moviéndose el material fundido hacia porciones más altas de la litósfera.

#### MANIFESTACIONES TERMALES

La mayor parte de las manifestaciones en el área de investigación y de modo particular las fuentes de más alta termalidad, se manifiestan en la parte exterior del área de absorción regional, coincidente con la parte más elevada del macizo volcánico (5.400 metros) y hasta una cota aproximada de los 3.500 metros; constituye una excepción a esta regla las principales azufreras que unidas a las fumarolas de los cráteres de la cumbre, acompañan a los últimos restos expelidos por la actividad volcánica.

#### ANÁLISIS QUÍMICO

Se recogieron alrededor de 35 muestras de incrustaciones, de agua y de gas seleccionadas, a fin de estudiar la mayor parte posible de las manifestaciones más significativas.

En lo que respecta a las incrustaciones se analizaron 21 muestras constituidas principalmente de carbonatos, sulfatos y cloruros, estando presente también sílice.

Las muestras de agua (11) fueron analizadas para determinar las relaciones entre los isótopos de hidrógeno y entre los de oxígeno, pudiéndose establecer el origen meteórico de todas las muestras de agua, lo que sugiere además, una circulación poco profunda.

Las muestras de gas (3) resultaron poco confiables ya que los recipientes que las contenían se averiaron y fueron contaminadas con aire.

## COMPLEJO HIDROGEOLOGICO

El complejo metamórfico es poco permeable, contiene estratos y bloques de estratos que tornan el complejo suficientemente fracturado (cuarcitas, esquistos, neises, mármoles, etc.) sensibles a los efectos de la tectónica de tipo rígido.

Tanto los factores litológicos como tectónicos contribuyen a establecer una circulación en el complejo metamórfico de una manera discontinua, en un orden difícil de reconstruir.

En el complejo sedimentario, la circulación interna debe desarrollarse con cierta regularidad, en terrenos permeables por porosidad. Estos terrenos (areniscas, conglomerados, arenas, etc.) caracterizan al complejo sedimentario y desde el punto de vista de la permeabilidad son más importantes que los niveles calcáreos, calcáreos margosos, margosos, etc., donde la permeabilidad sólo ocurre por fracturación.

La circulación es controlada por la litología de los terrenos; a sí los niveles de arcilla, arcilla margosa, toba arcillosa, crean continuidad en la circulación según superficies paralelas a las capas del yacimiento. El complejo ígneo se considera en su conjunto en el área de investigación como permeable, debido a las características de percolabilidad de las rocas que lo constituyen, influyendo las fallas del sistema regional, las fracturas por enfriamiento de la roca fundida, etc.

Es posible encontrar lavas y tobas en lugares impermeables por efecto de arcillación de los feldespatos y por fenómenos de autosellamiento.

## AREAS DE ABSORCION Y TIPOS DE CIRCULACION

El complejo volcánico cubre la cumbre de la Cordillera Central su prayaciendo al complejo metamórfico.

Las relaciones estructurales y características hidrogeológicas de los dos complejos crean condiciones muy favorables para la presencia de una importante área de absorción regional en la zona del Macizo Volcánico del Ruiz-Cisne-Santa Isabel-Quindío-Tolima. Esta área tiene una extensión aproximada de 250 Km<sup>2</sup> y comprende no sólo la cumbre sino los flancos hasta una cota de 3.500 mts.

La precipitación alrededor de 3.000 mm/año y el caudal superficial muy escaso sugieren una fuerte infiltración en los terrenos debajo de la nieve, penetrando el agua rápidamente a profundidad.

La parte central de la zona examinada está influenciada por dos tipos de circulación: a) de carácter regional, alimentada en el área de absorción regional, desarrollándose primero en el complejo ígneo y penetrando profundamente en el completo metamórfico donde se despliega sobre una amplia zona, y b) de carácter local, penetrando los terrenos aflorantes a profundidades variables, no superiores a unos cuantos centenares de metros y distribuyéndose rápidamente sobre áreas de poca extensión. En ambos casos, la circulación subhorizontal predomina sobre la descendente o ascendente.

#### INTERPRETACION DE LAS MANIFESTACIONES TERMALES

Las manifestaciones termales, desde un punto de vista geológico, se podrían interpretar: a) como resultado de una circulación poco profunda o, b) como la aparición en la superficie de aguas regionales muy profundas que atraviezan vías preferencialmente de ascenso.

Las observaciones de campo indican que pertenecen al primer caso, penetrando el agua meteórica en el subsuelo o algunos centenares de metros de profundidad, adquiriendo calor de una zona fuertemente anómala y reapareciendo luego a mayor o menor distancia bajo la forma de aguas termales. Este se confirma por la composición isotópica de las aguas termales, las cuales indican su origen meteórico, excluyendo de esta manera la posibilidad de una circulación larga y profunda.

#### CONSIDERACIONES GENERALES Y CONCLUSIONES

1. La actividad volcánica se inició en el Cretáceo y ha debido ser muy intensa a finales del Terciario y durante el Cuaternario.
2. La presencia de rocas volcánicas recientes, la sismicidad de la zona y la "historia misma del levantamiento de la Cordillera Central", representan indicios de ascenso en la cámara magmática que concluyó en el Plioceno antes de los sacudimientos volcánicos perimetrales.
3. El complejo ígneo puede constituir un gran depósito de fluidos en la zona de intrusión sepultada.
4. Todo el complejo volcánico del Ruiz no se presta para ser considerado como un objetivo potencial de investigación geotérmica ya que no hay una costra de recubrimiento lo suficientemente espesa. Sin embargo, la presencia en pequeñas áreas de arcillificación, caolinización, algún horizonte tobaceo-arcilloso potente, podrían sugerir de manera particular la acumulación de fluidos bajo presión.
5. Los terrenos sedimentarios con su alternancia de niveles arcillosos y arenosos, son favorables para la acumulación de fluidos endógenos.
6. La zona del sinclionario del Magdalena es poco probable para la acumulación de fluidos endógenos debido al hundimiento de la serie sedimentaria.
7. El escalonamiento oriental del Cauca con hundimientos tectónicos poco fuertes y el poco espesor de sus series estratigráficas ofrecen una situación favorable para acumulación de fluidos térmicos.

Teniendo en cuenta el estudio anterior presentado por ENEL y las informaciones obtenidas posteriormente, se ha planeado iniciar un programa de estudio dividido en tres fases. Los estudios de la Fase I que se iniciarán próximamente, cubrirán casi todo el Departamento de Caldas y parte de los Departamentos limítrofes de Antioquia, Risaralda, Quindío y Tolima, con una superficie total de 15.000 Km<sup>2</sup>.

## PROGRAMA DE ESTUDIOS

### PREFACTIBILIDAD

#### - FASE I (Estudios de Zona)

Comprende básicamente las investigaciones superficiales a escala de semidetalle, que tienen por objeto la localización de áreas preferenciales, donde concentrar estudios y prospecciones más específicas y detalladas.

Esta fase prevé:

- Levantamientos y estudios geológicos, vulcanológicos, hidrogeológicos y topográficos.
- Investigaciones geoquímicas de aguas, gases, rocas, etc., por medio de análisis convencionales y/o isotópicos.
- Investigaciones geofísicas, tales como gravimetría, magnetometría, pozos de prueba de gradiente, sondeos eléctricos de resistividad y prospección telúrica.

#### - FASE II (Estudio de Areas Preferenciales)

Comprende prospecciones, estudios y análisis de detalle en áreas particulares definidas en la Fase I. El objeto de esta fase es el de localizar la parte más preferencial de las áreas escogidas y la consiguiente ubicación de los primeros pozos de exploración profunda.

Las prospecciones y los estudios para esta segunda fase serán llevadas a cabo solamente si los resultados de la primera fase así lo aconsejan.

Estos trabajos comprenderán detalles de las investigaciones previstas en la primera fase y otras, como sísmica, electromagnetismo, microsísmica, prospección geotérmica, sondeos magneto-telúricos, etc.

## FACTIBILIDAD

### - FASE III (Trabajos de Exploración Profunda)

Consiste en la ejecución de los trabajos de exploración profunda en los sitios definidos por la fase anterior y de las investigaciones complementarias inherentes. Su objetivo es comprobar la existencia y naturaleza del fluido endógeno y evaluar la posibilidad de su utilización como fuente de energía eléctrica.

Esta fase incluye también la medición de los fluidos, la física del reservorio, el estudio del desecho eventual, el proyecto de la planta piloto y su instalación.

El objeto final del proyecto es la instalación de una planta piloto con una capacidad comprendida entre 3 y 10 MW.

## DESARROLLO FASE I

El alcance de los trabajos de la Fase I es el siguiente:

### I. Recopilación y análisis de la información existente

Recopilación, estudio y síntesis de toda la información publicada e inédita de los documentos geológicos, geofísicos, geoquímicos, topográficos, hidrogeológicos, hidrológicos, geotérmicos, etc., de la zona en estudio y de las regiones limítrofes de importancia para los propósitos de esta Fase.

### II. Estudios geológicos

Los estudios geológicos comprenderán:

- a. Levantamientos fotogeológicos, en un área aproximada de 15.000 Km<sup>2</sup> con base en fotografías aéreas a escala 1:60.000 y/o 1:20.000.

Estos levantamientos fotogeológicos incluirán:

- a.1 Cartografía fotogeológica
  - a.2 Análisis de las fracturas, fallas maestras, densidad de fracturas, formas circulares, etc.
  - a.3 Reconocimiento de campo
  - a.4 Elaboración de planchas fotogeológicas en escala 1:100.000
  - a.5 Informe
- b. Levantamientos geológicos semidetallados.

Se ejecutarán levantamientos geológicos en un área aproximada de 5.000 Km<sup>2</sup>, con base en planchas topográficas a varias escalas.

Estos levantamientos geológicos comprenderán:

- b.1 Cartografía geológica
  - b.2 Estudio y análisis estratigráficos
  - b.3 Estudios paleontológicos
  - b.4 Análisis petrográficos y petrológicos
  - b.5 Elaboración de planchas geológicas en varias escalas y síntesis en escala 1:100.000
  - b.6 Informe integrado
- c. Vulcanología

Estudio de las sucesiones volcánicas, composición química de los productos y determinación de edades.

### III. Topografía

- a. Restituciones aerofotogramétricas adicionales a varias escalas en aquellas zonas que los estudios lo requieran.
  - a.1 Toma de fotografías aéreas
  - a.2 Control de campo
  - a.3 Radiotriangulación
  - a.4 Restitución aerofotogramétrica y dibujo
  - a.5 Elaboración de planchas topográficas
- b. Levantamientos topográficos convencionales  
Localización y detalles para investigaciones geológicas, geofísicas, geoquímicas, hidrogeológicas, etc.

### IV. Hidrogeología

- a. Reconstrucción de las series hidrogeológicas

- b. Localización y estudio hidrogeológico de los puntos de agua fría y caliente, como fuentes, pozos, fumarolas, etc. y de las principales manifestaciones termales activas y fósiles.

V. Geoquímica

- a. Muestreo y análisis químicos convencionales de los efluentes tales como gases, agua, etc., de las principales manifestaciones y fuentes de agua fría.
- b. Muestreo y análisis de aguas corrientes y suelos a lo largo de la red hidrográfica principal.
- c. Análisis isotópicos, para hidrógeno, oxígeno, etc., de los efluentes, como gas y agua y de los depósitos de algunas manifestaciones típicas.
- d. Elaboración de mapas geoquímicos mostrando distribución de las concentraciones de los elementos más importantes y las relaciones iónicas en aquellas áreas donde se requieran.

VI. Geofísica

Los trabajos geofísicos, necesarios dentro del alcance de esta Fase, podrán comprender lo siguiente:

- a. Gravimetría y magnetometría  
Sobre una red de aproximadamente 500 puntos en un área de aproximadamente 10.000 Km<sup>2</sup>.
- b. Telúrica  
Sobre una red de 400 puntos con una densidad promedio de un punto cada 25 Km<sup>2</sup>.
- c. Ensayos geoelectricos  
Ejecución de 100 puntos de medición geoelectrica de prueba, según el método del VES, Dipolo-Dipolo u otro de reconocida confiabilidad.

d. Pozos de gradiente

Ejecución de 15 a 20 pozos de gradiente, con profundidades del orden de 100 metros, con extracción parcial de núcleos y medición de la conductibilidad térmica.

VII. Informe Final

En el informe se incluirá una descripción de las posibles áreas geotérmicas identificadas y se recomendará aquella o aquellas que presenten las características técnicas y económicas más favorables para continuar con la segunda fase del estudio.

En general, el informe comprenderá:

- a. Un resumen de todos los estudios anteriores
- b. La información disponible y las investigaciones realizadas
- c. Metodología
- d. Estudios, cálculos y planos elaborados
- e. Conclusiones y recomendaciones

Se incluirán además todos los cuadros, figuras, planos y anexos sobre Geología, Geofísica, Geoquímica, Hidrogeología, Hidrología, Topografía, etc.

ACTIVIDADES	TIEMPO ( MESES )										Medios - Hrs		Costo total por actividad		VIÁTICOS	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Col.	Ind.	COLS	IND	COLS	IND
I Recopilación y análisis de la información existente											2	—		—		—
II Estudios geológicos																
a. Levantamientos fotogeológicos																
a.1 Cartografía fotogeológica											11 + 12					
a.2 Análisis de las fracturas, fallas normales, densidad de fracturas, formas circulares											1					
a.3 Reconocimiento de campo											1					
a.4 Elaboración de planchas fotogeológicas a escala 1:100,000											2					
a.5 Informe											1					
b. Levantamientos geológicos escindotectónicos																
b.1 Cartografía geológica											35					
b.2 Estudio y análisis estratigráficos																
b.3 Estudios paleontológicos											1					
b.4 Análisis petrográficos y petrología											1.0					
b.5 Elaboración de planchas geológicas a escala 1:25,000 y/o 1:10,000, síntesis en 1:100,000											0.5					
b.6 Informe integrado											4					
c. Vulcanología																
a. Levantamiento											6	1				
b. Laboratorio											6					
c. Informe											2					
III Topografía																
a. Restituciones aerofotogramétricas																
a. diferentes escalas - intervistoria																
a.1 Toma de fotografías aéreas											0.25					
a.2 Control de campo											1					
a.3 Audiometría											0.25					
a.4 Restitución aerofotogramétrica											0.5					
RECONSTRUCCIÓN OPERATIVA EN LA REGIÓN DEL MASIVO VOLCÁNICO DEL MIZ										CRONOGRAMA DE ESTUDIOS Y ACTIVIDADES FISCAL						

ACTIVIDADES	TIEMPO ( MESES )										Hombres - Mes		Costo total por unidades		VIÁTICOS	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Col.	Ital.	COL\$	US\$	Días	Perno
	a.5 Elaboración de planchas topográficas											0.5				
b. Levantamientos topográficos convencionales											6 + 24 T					
IV Hidrogeología																
a. Reconstrucción de las series hidrogeológicas											2					
b. Localización de los puntos de agua											2					
V Geoquímica																
a. Muestreo y análisis manifestaciones y fuentes																
a.1 Muestreo											1 + 12					
a.2 Análisis											1 + 22	1T				
b. Muestreo y análisis red hidrográfica																
b.1 Muestreo											1 + 12					
b.2 Análisis											2 + 22	1T				
c. Elaboración de mapas geoquímicos											3					
d. Análisis Isotópico ( 50 muestras )											—	1 + 22				
VI Geofísica																
a. Geovisstría y Magnetometría																
a.1 Mediciones de Campo											6 + 6T					
a.2 Procesamiento de datos											1 + 1T					
a.3 Informe											2					
b. Telúrica																
b.1 Campo											12 + 12T					
b.2 Procesamiento											2 + 2T					
INVESTIGACION GEOTERMICA EN LA REGION DEL MACIZO VOLCANICO DE BUZ										ICM -		PROGRAMA DE ESTUDIOS Y ESTIMATIVOS DE PERSONAL		CUADRO No. 1		

ACTIVIDADES	TIEMPO (MESES)										Hombres - Mes		Costo total por sueldos		VIÁTICOS	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	En Col.	En Ital.	USD	US\$	En Col.	En Ital.
3.3 Informe											1					
3.3.1 Geodésicos											4 + 8T					
3.3.1 Campo																
3.3.2 Procesamiento de datos											1					
3.3.3 Informe											1					
4. Posca de gradientes																
4.1 Perforación											4 + 120T					
4.2 Mediciones técnicas											1 + 5T					
4.3 Mediciones de conductividad												2T				
4.4 Procesamiento e informes											(+)					
5. Informe final											(+)	(+)				
1. Personal ejecutivo																
Dirección del Proyecto (colomb.)											4					
Dirección del proyecto (italiano)											1.51	0.5				
Jefe de proyecto colombiano											10					
Jefe de proyecto (italiano)											21	0.5				
Geofísicos (italiano)											2.51	0.5				
Geofísicos (italiano)											21	0.5				
Total M-H colombianos (no incluye personal técnico y auxiliar)											147+31	4 + 6T				
Total M-H italianos																
Costos con personal profesional colombiano																
Costo viáticos en Colombia personal italiano																
2. Personal auxiliar técnico																
Auxiliares de ingeniería y dibujantes											72 T					
Total M-H técnicos colombianos											264 T					
Costo total técnicos colombianos																

INVESTIGACION GEOTERMICA EN LA REGION DEL  
MAGICO VOLCANICO DEL RUIZ

ICEL -  
CRONOGRAMA DE ESTUDIOS Y ESTIMATIVOS  
PERSONAL

CUADRO No. 1

ACTIVIDADES	DURACION ( MESES )										Hombres - Mes		Costo total por estudio		VI Días	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Col.	Ital.	Col\$	US\$		
3. Personal no técnico																
Caladores, obreros																
Chofures																
Total H-M no técnicos colombianos																
Costo total personal no técnico																
Costos totales sin incluir factor multiplicador																
Personal de oficina (Ejecutivos, profesionales y técnicos)																
Personal de planilla																
Viáticos personal Italiano																
Viáticos:																
Costo total																
(*) Los hombre-mes correspondientes están incluidos en las respectivas actividades participantes durante el mes 10																
(**) Los hombre-mes correspondientes están incluidos en la actividad d-1																
1 Hombre-mes italianos en Colombia.																
7 Personal Técnico.																
Actividad de oficina continua																
Actividad de oficina discontinua																
Actividad de campo continua																
Actividad de campo discontinua																
IT Personal no técnico																

INVESTIGACION GEOTECNICA EN LA REGION DEL  
MACIZO VOLCANICO DEL BUZ

ICEL -  
CRONOGRAMA DE ESTUDIOS Y REPERATIVOS DE  
PERSONAL

CUADRO No. 1

COSTA RICA

EL PROYECTO GEOTERMICO DE COSTA RICA  
(ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS)

AUTOR:

Ing. Manuel F. Corrales V.  
Jefe del Departamento Programas de  
Generación - Coordinador del Proyecto Geotérmico  
Instituto Costarricense de Electricidad

14 GEOLOGIA /  
1 COSTA RICA /  
1 ENERGIA /  
1 ELECTRICIDAD /  
1 EXPERIMENTO

CONTENIDO:

RESUMEN

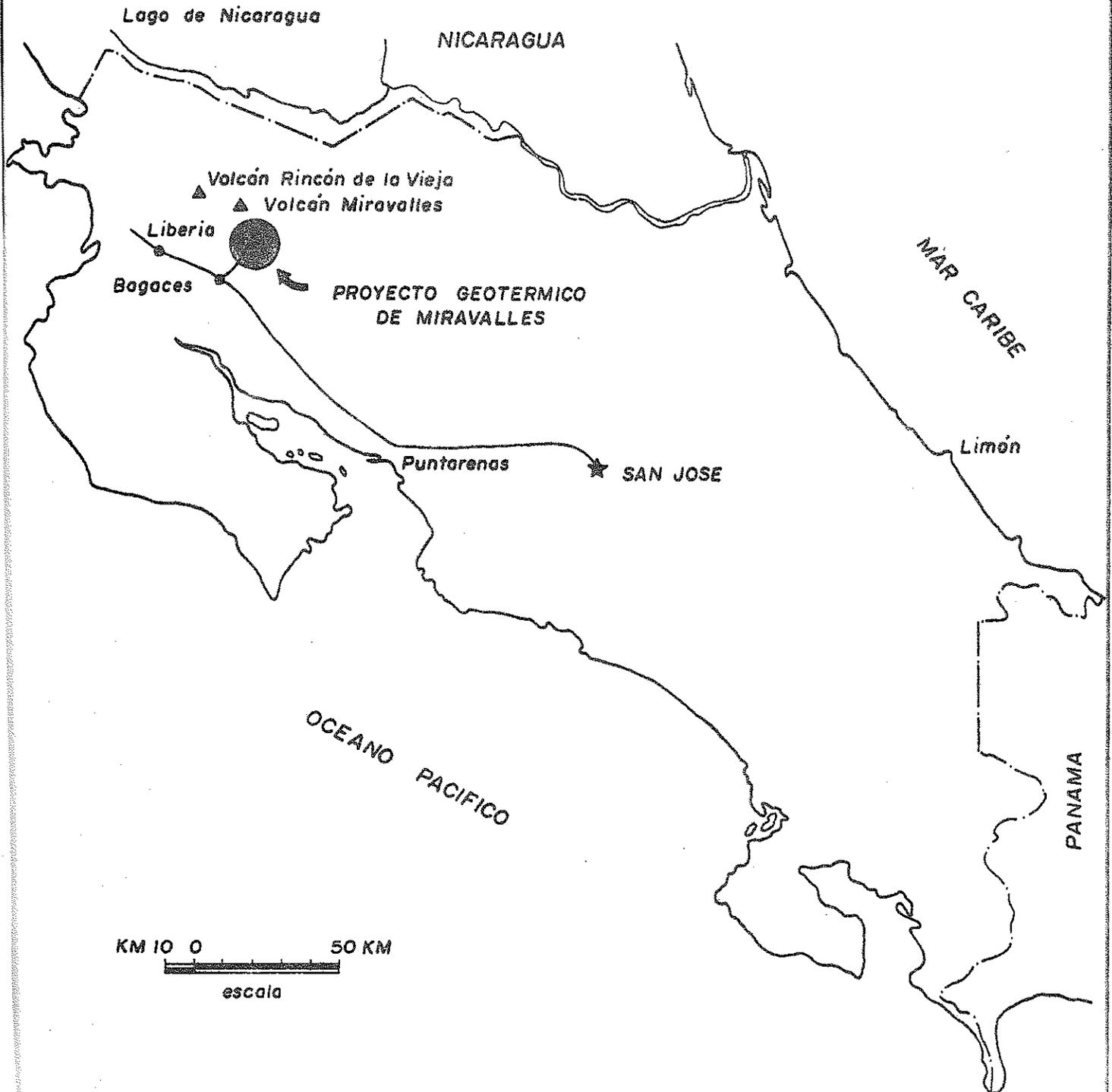
1. ESTUDIOS REALIZADOS
2. PERSPECTIVAS FUTURAS
3. TRABAJOS DE LA SEGUNDA FASE REALIZADOS  
HASTA LA FECHA (ABRIL 1978)

EL PROYECTO GEOTERMICO DE COSTA RICA  
(ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS)

RESUMEN

Se presenta en este documento un somero informe sobre las investigaciones realizadas en Costa Rica, tendientes a determinar la existencia de un reservorio geotérmico comercialmente explotable para la generación de energía eléctrica, en las faldas del volcán Miravalles de la Cadena Volcánica de Guanacaste, al noroeste del país.

Se analizan los resultados de la Fase I (o Previabilidad) y que concluyeron satisfactoriamente en diciembre de 1976 y permitieron señalar como zona más atractiva para las perforaciones exploratorias profundas el triángulo Hornillas-Unión-Fortuna, en las faldas del volcán Miravalles. Se describen las investigaciones a realizar en esta zona como parte de la Fase II del Proyecto Geotérmico de Guanacaste (Miravalles), cuyo objetivo básico es determinar la viabilidad técnica y económica de producir energía eléctrica con el vapor endógeno del reservorio cuya existencia se infiere de la información obtenida hasta la fecha.



PROYECTO GEOTERMICO DE MIRAVALLES

## LOCALIZACION

## 1. ESTUDIOS REALIZADOS

### 1.1 Antecedentes

A partir de 1959, se comienza a hablar en Costa Rica de los recursos geotérmicos del país, al recibirse una información proveniente del Director del Servicio Geológico de El Salvador, que con base en la literatura a su disposición, hace ver la existencia de campos geotérmicos en la Cordillera Volcánica de Guanacaste, que eventualmente podrían ser aprovechados para la producción de energía eléctrica.

En 1963 y 1964, a solicitud del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), visitaron Costa Rica expertos en geotermia enviados por las Naciones Unidas, quienes coincidieron en la importancia de profundizar en el estudio de los recursos geotérmicos de la zona Pailas-Hornillas, en las faldas de los volcanes Rincón de la Vieja y Miravalles.

Entre 1964 y 1974, se abandona temporalmente el esfuerzo en este campo, por falta de los recursos financieros y debido a la poca experiencia que existía en el Continente America no sobre la explotación de los recursos geotérmicos.

La crisis energética y la elevación de precios de combustibles derivados del petróleo que tuvo lugar de 1973 a 1974, reactivó el interés en el ICE por los recursos geotérmicos. De esta manera, a partir de 1974 se inicia la recolección de datos en una zona de más de 500 Km<sup>2</sup> comprendida entre los volcanes Miravalles, Rincón de la Vieja, Santa María y la Carretera Interamericana en sus límites norte, sur, respectivamente y entre los ríos Tenorio y Salitral al este y oeste.

En noviembre de 1975 y dentro de un crédito de asistencia técnica del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), se contrataron los servicios de asesoramiento de la firma Rogers Engineering, asociada con GeothermEx, ambas de California, Estados Unidos, para los estudios de la Fase I (o de Previabilidad) del Proyecto Geotérmico. Dicha fase concluyó oficialmente con el respectivo informe de previabilidad técnica en diciembre de 1976.

### 1.2 Organización Interna

Para llevar a cabo estos estudios se organizó inicialmente

dentro del ICE un grupo de trabajo interdireccional, debidamente coordinado. A partir de junio de 1977 se creó el Proyecto Geotérmico como centro funcional dentro del Departamento Programas de Generación.

### 1.3 Adiestramiento de Personal

Como parte esencial del proyecto se consideró el adiestramiento en Geotermia del personal clave.

Se enviaron al curso de Geotermia en Pisa - Italia a tres ingenieros (un civil, un geólogo y un mecánico). En El Salvador se entrenaron dos geoquímicos en la recolección y análisis químico de fluidos geotérmicos.

También se envió este personal a los Estados Unidos de América, para que observaran diferentes etapas del desarrollo de los recursos geotérmicos, desde los estudios preliminares hasta las plantas en operación.

### 1.4 Estudios Realizados

Para llegar a estimar la existencia de recursos geotérmicos en una región dada, se requieren estudios multidisciplinarios, que permitan conocer los principales rasgos geológicos que pudieren intervenir en la formación de un campo geotérmico (fuente de calor, reservorio, permeabilidad de las rocas del reservorio, existencia de una capa confinante), la calidad química de los fluidos geotermiales, su posible temperatura, zonas de más alta concentración de calor, etc. Es necesario entonces contar con el aporte de varias disciplinas, adecuadamente coordinadas para llegar a resultados prácticos.

Las especialidades que intervienen en esta clase de estudio son:

1.4.1 Geología (superficial y estructural)

1.4.2 Geofísica (conductividad eléctrica y gravimetría y flujo de calor)

1.4.3 Geoquímica

1.4.4 Geohidrología

Descripción de los trabajos efectuados en cada una de estas disciplinas en el Proyecto Geotérmico de Costa Rica:

Geología.- Se ha estudiado a nivel regional un área de 2.000 Km<sup>2</sup>, con estudios de mayor detalle en una superficie de 450 Km<sup>2</sup>. Este estudio ha permitido determinar las estructuras geológicas más importantes para el Proyecto Geotérmico.

Hidrometeorología.- Para conocer los principales parámetros hidrológicos y meteorológicos y estimar así el comportamiento hidrogeológico de los campos geotérmicos en estudio, se instalaron tres estaciones fluviográficas, una en cada uno de los Ríos El Salto, Salitral y Blanco y un total de 10 estaciones meteorológicas, dos de las cuales pueden medir hasta 7 parámetros meteorológicos y el resto para determinar la precipitación diaria.

Geoquímica.-Se han analizado más de 460 muestras de agua para la determinación de sílice, cloruros, sodio, potasio, calcio, etc. Esta investigación permitió determinar dos zonas de interés, la primera, ubicada en las faldas del volcán Miravalles y otra en las faldas del Rincón de la Vieja.

Con la utilización de los modelos desarrollados por el U.S. Geological Survey, se han estimado temperaturas de reservorio superiores a los 240°C. (Las temperaturas máximas estimadas son de 290°C).

Geofísica.- En la parte de geoelectrica se han usado tres métodos:

- Calicatas eléctricas
- Sondeos verticales con configuración Wenner, y
- Sondeos verticales dispositivo Schlumberger

Se realizaron cerca de 390 calicatas y más de 450 sondeos hasta profundidad de aproximadamente 2.000 metros (en total se han efectuado 18 perfiles, más el número 19 que está en proceso).

Este estudio ha determinado extensas zonas de anomalías geoelectricas con resistividades inferiores a los 5 ohmios-m que cubren las faldas de los volcanes Rincón de la Vieja y Miravalles.

En el aspecto de gravedad se efectuó un extenso levantamiento

abarcando cerca de 450 Km<sup>2</sup> con 1.200 estaciones, usando un gravimétrico tipo Worden. Este levantamiento muestra, así mismo, estructuras geológicas muy interesantes desde el punto de vista geotérmico, estrechamente relacionadas con las zonas de anomalías geoelectricas.

Medidas de gradientes térmicos.- Se efectuaron un total de 39 perforaciones de diámetro pequeño de propósito múltiple (medidas de gradientes, niveles freáticos y estudios estratigráficos), con profundidades variando entre 20 y 300 metros.

Estas perforaciones han permitido delinear una zona de mucho interés con un gradiente superior a los 500°C/Km de unos 10 Km<sup>2</sup>, ubicada en las faldas del volcán Miravalles, entre las Hornillas y La Fortuna de Bagaces.

#### 1.5 Conclusiones y Recomendaciones del Estudio de la Fase I del Proyecto Geotérmico

Las siguientes conclusiones y recomendaciones han sido obtenidas del Informe de Previabilidad del Proyecto Geotérmico y de los estudios complementarios posteriores:

##### 1.5.1 Conclusiones

- a) Toda la exploración programada en la Fase I del Proyecto de Guanacaste ha sido terminada en el tiempo previsto.
- b) Una importante anomalía geotérmica ha sido identificada en La Unión - Las Hornillas - La Fortuna, al pie del volcán Miravalles. Se caracteriza por la presencia de gradientes de temperatura muy altos, resistividades bajas importantes, una anomalía química, fumarolas y manantiales calientes ubicados a lo largo del límite de una supuesta caldera en las laderas del volcán Miravalles.
- c) Una temperatura de más de 150°C fue medida a unos 200 metros de profundidad en un pozo de gradiente en La Fortuna.

- d) Temperaturas cercanas a 200°C fueron medidas en Las Hornillas a 300 metros de profundidad.
- e) Las bajas resistivas se extienden a profundidad a lo largo de un área muy amplia, incluyendo una faja a través de Horcones, San Jorge y Las Pailas. La causa física de estas extensas bajas no es conocida; sin embargo, se considera que alteraciones hidrotermales y temperaturas altas pueden contribuir a estas anomalías.
- f) Los datos químicos son característicos de un reservorio geotérmico salino, con quizás 8.000 a 15.000 mg/l de sólidos disueltos, de los cuales, por lo menos la mitad serían en forma de cloruro de sodio.  
  
Esta salinidad puede contribuir también a los valores de baja resistividad.
- g) El agua termal brota en las pendientes inferiores del volcán Miravalles. El flujo termal se puede seguir químicamente hacia el norte hasta Guayabal y hacia el sur hasta pasar Salitral de Bagaces.
- h) La intersección de fallas regionales de dirección noroeste y grietas con fracturas anulares en la corona de la caldera, o con fracturas conjugadas de dirección nordeste-suroeste, puede localizar depósitos geotérmicos poco profundos.
- i) Los reservorios podrían localizarse en tobas soldadas fracturadas de la Formación Bagaces, o en lavas andesitas solidificadas fracturadas de edad Pliocénica.
- j) El agua de lluvia recarga capas acuíferas de agua fría en las laderas de los volcanes Miravalles y Rincón de la Vieja. La circulación de esta agua, en parte oculta anomalías termales subyacentes, a profundidades de decenas a cientos de metros y en parte se mezcla con aguas termales ascendentes.
- k) A causa de las mezclas inferidas, los geotermómetros químicos no dan resultados precisos.

Las temperaturas de los reservorios estimados por estos métodos oscilan entre los 200°C y 290°C.

- l) Se han encontrado también anomalías de gradiente de temperatura en Borinquen y también en Las Pailas y volcán Rincón de la Vieja. Hay una resistividad baja pequeña en Borinquen y una baja importante que se extiende entre Las Pailas y San Jorge. Sin embargo, no se han perforado pozos de gradiente en las anomalías de resistividad de Horcones, San Jorge o pendiente arriba de Las Pailas.
- m) El acceso es extremadamente difícil más arriba de las zonas de fumarolas en el Miravalles y en el Rincón de la Vieja. Ello ha limitado la perforación de pozos de gradiente, así como los estudios de resistividad, de gravedad y de mapeo geológico en las zonas más altas.

#### 1.5.2 Recomendaciones

- a) Se recomienda la perforación de una serie de pozos exploratorios profundos para el área de Las Hornillas - La Fortuna. Se han seleccionado siete sitios, empezando con un pozo lateral abajo, inmediatamente después de Las Hornillas, en un área de un gradiente de temperatura muy alto y una baja resistividad en profundidades someras. Una profundidad máxima de un kilómetro es recomendada para esta primera perforación.
- b) Si el primer pozo exploratorio tiene éxito, se recomienda un segundo pozo al oeste de Las Hornillas a una profundidad máxima de 1.200 metros. Se recomiendan sitios adicionales, a mitad de camino entre los primeros dos pozos, así como entre Las Hornillas y La Fortuna y cerca de La Unión, también con una profundidad máxima de 1.200 metros.
- c) Si el primer pozo en Las Hornillas es frío e impermeable, el segundo pozo se recomienda para La Fortuna, cerca del pozo de gradiente de

muy alta temperatura, en una zona de gran espesor de muy baja resistividad. Se recomienda una profundidad máxima de 1.500 metros. La perforación de un pozo de confirmación en el mismo reservorio, seguiría en caso de tenerse éxito en La Fortuna.

- d) Las profundidades deberán ser menores que la máxima, si un reservorio geotérmico es encontrado a profundidades menores, o si las temperaturas descienden a, o permanecen a mucho menos de 200°C a profundidad.
- e) Deberán ser perforados por lo menos 3 y preferiblemente 4 pozos profundos. Se recomienda un total de alrededor de 4.000 metros de perforación, como la cantidad mínima para obtener los resultados suficientes para propósitos de viabilidad. Por lo tanto, el número de pozos dependerá del número de metros perforados en los primeros tres pozos.

Será posible perforar un cuarto y un quinto pozo si los pozos se terminan o son abandonados a profundidades más bajas que la máxima indicada anteriormente.

## 2. PERSPECTIVAS FUTURAS

Los resultados obtenidos en la Primera Fase del Proyecto Geotérmico hacen ver la conveniencia de continuar las investigaciones de este proyecto en una segunda fase, cuyo objetivo fundamental es determinar viabilidad técnica y económica de producir energía eléctrica en Costa Rica por medio del vapor endógeno.

Para llegar a esta determinación, es necesario perforar de 3 a 4 agujeros exploratorios profundos, de 1.000 m. de profundidad aproximada cada uno, efectuar estudios geofísicos adicionales, y la evaluación de toda la información para estimar la capacidad energética del reservorio geotérmico. Con estos datos se procederá al diseño preliminar de la primera planta geotérmica, y a confeccionar su respectivo presupuesto, para llegar finalmente a demostrar la viabilidad económica de esta nueva fuente de energía.

Esta Fase II, se espera esté concluída hacia fines de 1979. La primera planta geotérmica de Costa Rica, caso de que resultara viable su construcción, podría estar operando entre 1982 y 1984.

3. TRABAJOS DE LA SEGUNDA FASE REALIZADOS HASTA LA FECHA (ABRIL 1978)

Los positivos resultados obtenidos de la Fase I del Proyecto y que se resumieron en el Informe de Previabilidad Técnica del Proyecto Geotérmico de Guanacaste y sus Anexos, permitieron al ICÉ gestionar en diciembre de 1976 ante el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) un préstamo para financiar la Fase II o de Viabilidad de este proyecto.

En mayo de 1977, se firmó en la ciudad de Guatemala el respectivo contrato de préstamo entre el BID y el Gobierno de Costa Rica. Dicho préstamo, por un total de 4.1 millones de dólares de los Estados Unidos de América, cubre esencialmente el contrato de perforación exploratoria profunda, incluyendo el suministro de todos los materiales y equipos y servicios complementarios para los 4 pozos y los servicios de consultoría para efectuar el análisis de toda la información que se obtenga de los estudios complementarios y de las perforaciones profundas y la preparación del informe de viabilidad de la primera planta geotérmica de Costa Rica, si los resultados de los pozos exploratorios confirman la existencia del recurso comercialmente explotable.

Hasta la fecha (abril de 1978), se ha conseguido avanzar en los siguientes aspectos de la Fase II:

- 3.1 Formalización del préstamo con el BID: la Asamblea Legislativa de Costa Rica ratificó el contrato de préstamo entre el BID y el Gobierno de este país el 22 de diciembre de 1977.
- 3.2 Construcción de campamentos: se han construído ya todos los campamentos y facilidades anexas para alojar al personal nacional y asesores extranjeros, en la población de Guayabo de Bagaces.
- 3.3 Se han preparado ya los cuatro sitios de perforación en sus aspectos principales de movimiento de tierra, lastrado y compactado de la superficie y excavación de los depósitos

para agua y lodos y accesos desde los caminos públicos.

- 3.4 Se han mejorado los caminos públicos de interés directo del ICE (Guayabo - Fortuna - Hornillas).
- 3.5 Se concluyeron los estudios complementarios que vinieron a reconfirmar la escogencia de los primeros cuatro sitios de perforación exploratoria profunda.
- 3.6 Se firmó el contrato con la firma consultora para los trabajos de asesoría técnica de la Fase II.
- 3.7 Se preparó y publicó el concurso de precalificación para los contratistas de perforación geotérmica profunda (se declaró desierto por la escasa concurrencia de firmas interesadas).
- 3.8 Se preparó y publicó el cartel para la licitación de las perforaciones profundas. La única oferta recibida está siendo estudiada, para ver si es posible adjudicarle o no los trabajos a la compañía oferente.
- 3.9 Se está preparando en los Estados Unidos, El Salvador y Costa Rica, personal que tendrá a su cargo la supervisión de estas perforaciones (junto con un ingeniero designado por la firma consultora).
- 3.10 Se compraron ciertos equipos, esenciales para el inicio de las perforaciones y cuyo tiempo de entrega puede ser limitante para el inicio de los trabajos (equipo para cabezales de pozo).
- 3.11 Se adquirieron los vehículos que se utilizarán en este Proyecto.

CHILE

LA ENERGIA GEOTERMICA EN CHILE

AUTORES:

Ings. Raúl Bravo y  
Patricio Trujillo

Corporación de Fomento de la  
Producción (CORFO)

/ \* GEOTERMIA \*  
/ PRODUCCION DE ENERGIA  
/ CHILE /

## CONTENIDO:

1. INTRODUCCION
2. AREAS HIDROTERMALES EXPLOTADAS
3. METODOLOGIA DE PROSPECCION
4. EL CAMPO GEOTERMICO DE EL TATIO
5. EL CAMPO GEOTERMICO DE PUCHULDIZA
6. OTRAS AREAS HIDROTERMALES
7. OTROS ESTUDIOS

## LA ENERGIA GEOTERMICA EN CHILE

### 1. INTRODUCCION

El interés por estudiar y desarrollar industrialmente los recursos geotérmicos en Chile, data desde principios de siglo, cuando en 1908 se formó en Antofagasta una sociedad privada para intentar explotar los geysers de El Tatio. Posteriormente esta sociedad consiguió con la empresa de Larderello, Italia, un equipo para sondajes que en 1921, a cargo del Ing. Ettore Toeche, inició perforaciones exploratorias en El Tatio. En esa oportunidad se perforaron dos pozos de aproximadamente 60 mts. de profundidad, fluyendo a lo menos uno de ellos, por alrededor de 30 años. Estas actividades fueron suspendidas en 1922 por problemas técnicos y económicos.

Entre los años 1920 y 1925 en Iquique se solicitaron al Gobierno concesiones para explotar los geysers de Puchuldiza, pero no hay antecedentes que indiquen si alcanzaron a desarrollar algunas actividades al respecto.

Posteriormente hubo algunos estudios e informes esporádicos por parte de investigadores de la Universidad de Chile, en relación al aprovechamiento de los recursos geotérmicos, los que lograron interesar a las autoridades pertinentes.

En 1954, el Gobierno de Chile solicita al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (P.N.U.D.) estudiar la posibilidad de suscribir un convenio para estudiar los recursos geotérmicos. Con este fin viajan al país algunos expertos de Naciones Unidas que informaron positivamente sobre esta posibilidad.

En el año 1967 se firma un convenio entre el Gobierno de Chile y el P.N.U.D., nombrándose a la Corporación de Fomento (CORFO), como organismo gubernamental participante en el convenio. Para llevar adelante este convenio, CORFO creó el Comité Geotérmico, cuya

función principal es la explotación, prospección y evaluación de los recursos geotérmicos del país.

En conformidad al convenio firmado con el P.N.U.D., y como etapa inicial, las actividades del Comité Geotérmico CORFO, se encontraron en el extremo Norte del país, Tarapacá y Antofagasta (18° 00 a 24° 00 latitud Sur), entre el meridiano 69° 30' longitud Oeste y el límite Oriental de Chile.

La prospección y evaluación de los recursos geotérmicos se centró en esta primera etapa en Tarapacá y Antofagasta, en una superficie de aproximadamente 110.000 Km<sup>2</sup>, por ser estas regiones del país las más deficitarias en recursos energéticos e hídricos.

## 2. AREAS HIDROTERMALES EXPLOTADAS

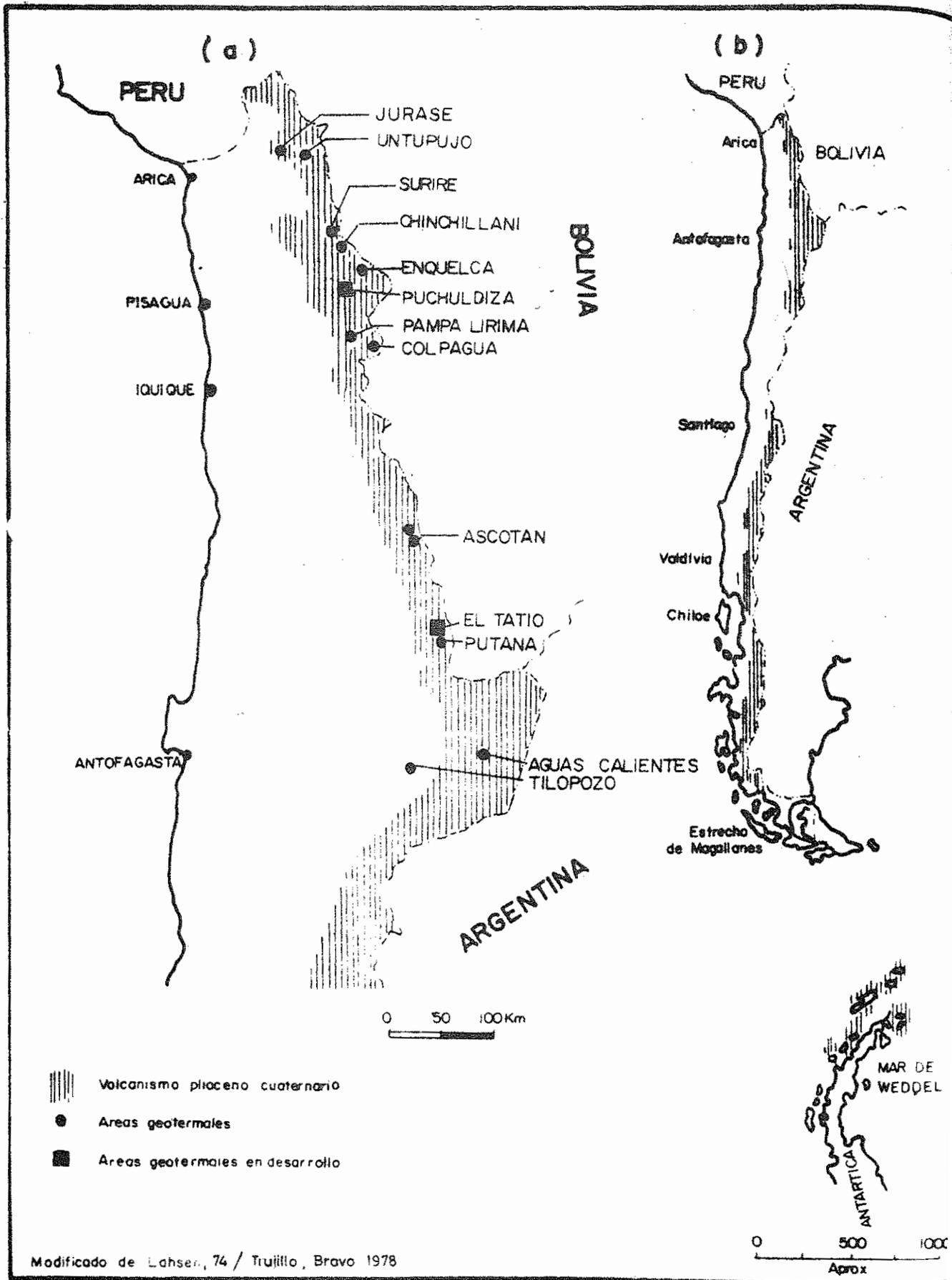
Las áreas hidrotermales explotadas en Tarapacá y Antofagasta, se encuentran ubicadas en la Cordillera de los Andes a una altura promedio de 4.250 m.s.n.m., estando todas ellas relacionadas con la actividad <sup>magnética</sup> magnética de la franja volcánica Plioceno-Cuaternario.

Los estudios se iniciaron con la explotación <sup>r (c)</sup> sistemática de El Tatio, ubicado a unos 100 Km. al Este de Calama y Chuquicamata, por ser ésta el área geotermal que contaba con mayores antecedentes que justificaba las prospecciones de detalle.

Paralelamente a estos estudios en El Tatio se hicieron exploraciones preliminares en una serie de áreas con manifestaciones termales, todas ellas ubicadas en Tarapacá o Antofagasta. Actualmente Chile, a través del Comité Geotérmico, se encuentra efectuando el Catastro Geotérmico de todo el país.

Como resultado de estas investigaciones, se determinaron las áreas más favorables para futuras exploraciones y posible explotación, que en el orden de prioridad son:

- Puchuldiza (130 Km. al este de Pisagua)
- Suriri (140 Km. al noreste de Pisagua)
- Jurase (90 Km. al este de Arica)
- Pampa Lirina (120 Km. al este de Iquique) (Figura 1)



AREAS GEOTERMALES Y VOLCANISMO PLIO CUATERNARIO EN EL NORTE DE CHILE (a)  
REGIONES CON POSIBILIDADES GEOTERMICAS A LO LARGO DEL PAIS (b)

### 3. METODOLOGIA DE PROSPECCION

En el norte del país se efectuaron reconocimientos preliminares de todas las áreas que presentaban manifestaciones termales superficiales. En ellas se tomaron muestras geoquímicas, se hicieron mediciones de temperatura de los fluidos superficiales y observaciones geológicas e hidrogeológicas de terreno, todo esto unido a estudios aerofotogramétricos, para determinar la temperatura y características del fluido de sub-superficie las posibilidades de recarga y estructura del sistema.

Con estos antecedentes, tomando en cuenta el aislamiento y acceso de las áreas en cuestión más la demanda de energía eléctrica en las diferentes fuentes de consumo, se seleccionaron las áreas geotermales para exploraciones sistemáticas: El Tatio como primera prioridad y Puchuldiza en una segunda etapa.

Las disciplinas empleadas en la exploración detallada de estas áreas han sido:

#### 3.1 Geología

Estudios de terreno acompañado del uso de fotografías aéreas, para determinar las características estructurales, estratigráficas y litológicas del área. También dentro de esta disciplina se incluyó la hidrogeología para establecer la posibilidad de una recarga suficiente, estudio que fue completado con la recolección de información meteorológica a utilizar también en el diseño de las futuras instalaciones de una Central.

#### 3.2 Geoquímica

Toma de muestras en las manifestaciones termales de gases, agua y depósitos hidrotermales, y análisis de las mismas, determinando las características químicas de los fluidos, sus posibles fuentes de origen y recorrido en sub-superficie, y en especial las temperaturas mínimas a encontrar en las perforaciones.

Además, análisis de agua y gases erogados por los sondajes de exploración y producción.

### 3.3 Geofísica

La técnica utilizada en Tarapacá y Antofagasta corresponde a métodos geoelectricos, muy especialmente resistividad, de limitándose con ella los límites areales como en profundidad de la anomalía geotérmica, aportando además antecedentes de las características estructurales y estratigráficas del área. Utilizándose también en las áreas de producción el método Dipolo-Dipolo, potencial espontáneo y sondajes Schlumberger.

### 3.4 Termometría

Determinación de gradientes térmicas, flujo calórico y pérdida de calor del área mediante el estudio sistemático de las fuentes termales y mediciones de temperatura en pozos de 2 m. de profundidad. Además se perforaron pozos de 30 m. para los estudios de gradiente.

Todos los antecedentes anteriores permitieron seleccionar la ubicación de pozos exploratorios cuyos resultados serían utilizados para recomendar las perforaciones futuras.

4.

#### EL CAMPO GEOTERMICO DE EL TATIO

Las prospecciones de detalle realizadas en este campo geotérmico permitieron detectar una importante anomalía geotermal de aproximadamente 30 Km<sup>2</sup>.

Por medio de medidas geoelectricas, se delimitó en el "Graben Tatio" un área de baja resistividad (30 Km<sup>2</sup> con 10 ohm. m.) correlacionable con el yacimiento geotérmico, puesto que la información geológica descartaba la asociación de esta anomalía con niveles salinos.

Dentro de esta gran anomalía de 10 ohm. m., existe un área de aproximadamente 14 Km<sup>2</sup> con 5 ohm. m., y englobados dentro de ésta última se distinguen dos áreas más pequeñas; una ubicada en la zona Norte de 3,5 Km<sup>2</sup>, y la otra en la parte central del yacimiento de 2,5 Km<sup>2</sup> ambas con 3 ohm. m. (Figura 2).

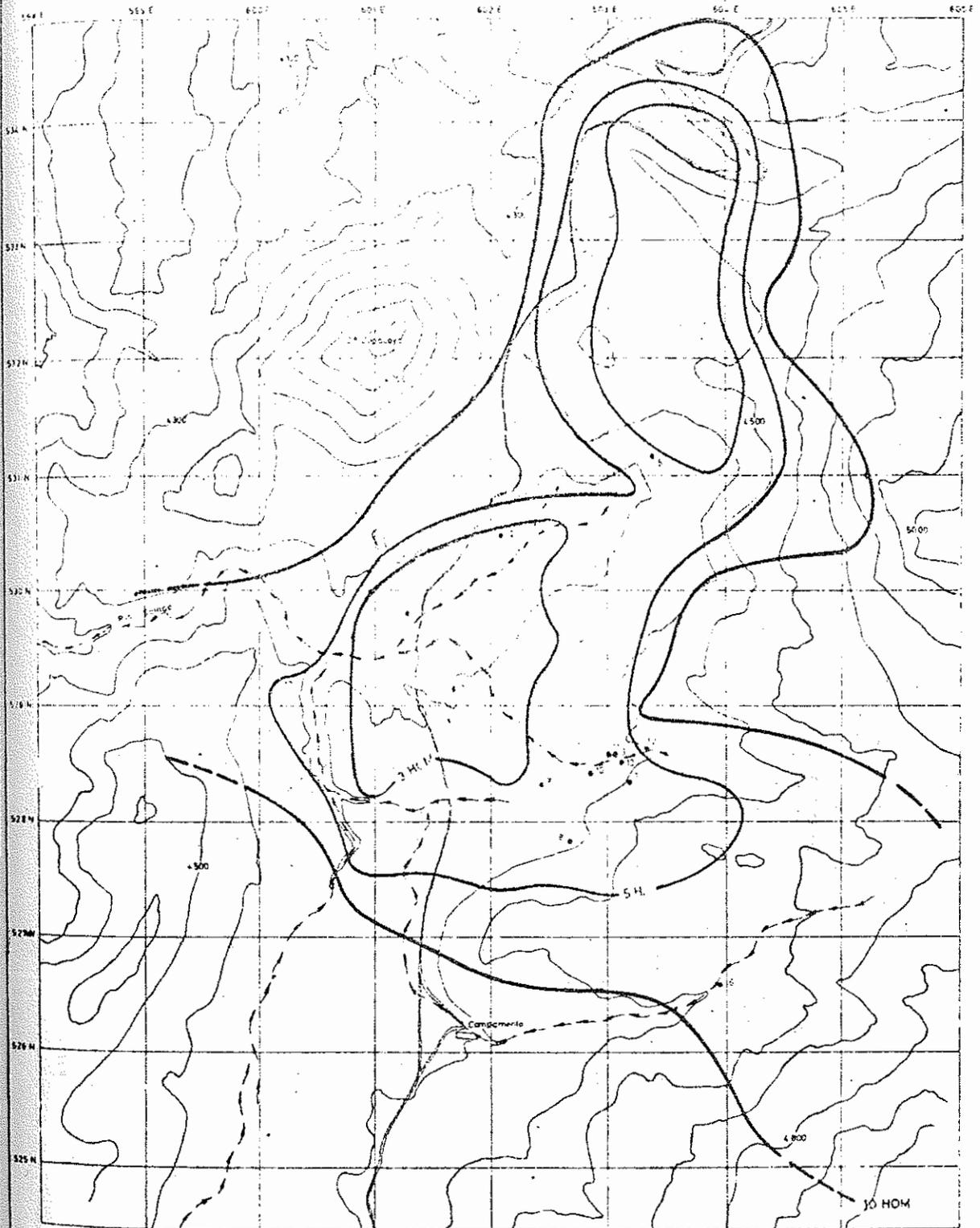
La configuración de la anomalía, particularmente sus prolongaciones hacia el este, denotan un fuerte control tectónico concordante con los estudios geológicos efectuados, el cual a su vez estaría regulando la alimentación de fluidos calientes provenientes del este, y que ascenderían hasta el área geotermal de El Tatio.

Dentro de la anomalía determinada, en la cual geoquímica indicaba temperaturas en profundidad del orden de 220°C a 250°C, se perforaron entre los años 1969 y 1971, seis pozos de prospección de 3.3/4" de diámetro final con profundidades variando entre 550 m. y 730 m.

Estas perforaciones demostraron la existencia del campo geotérmico, y permitieron ubicar diferentes acuíferos:

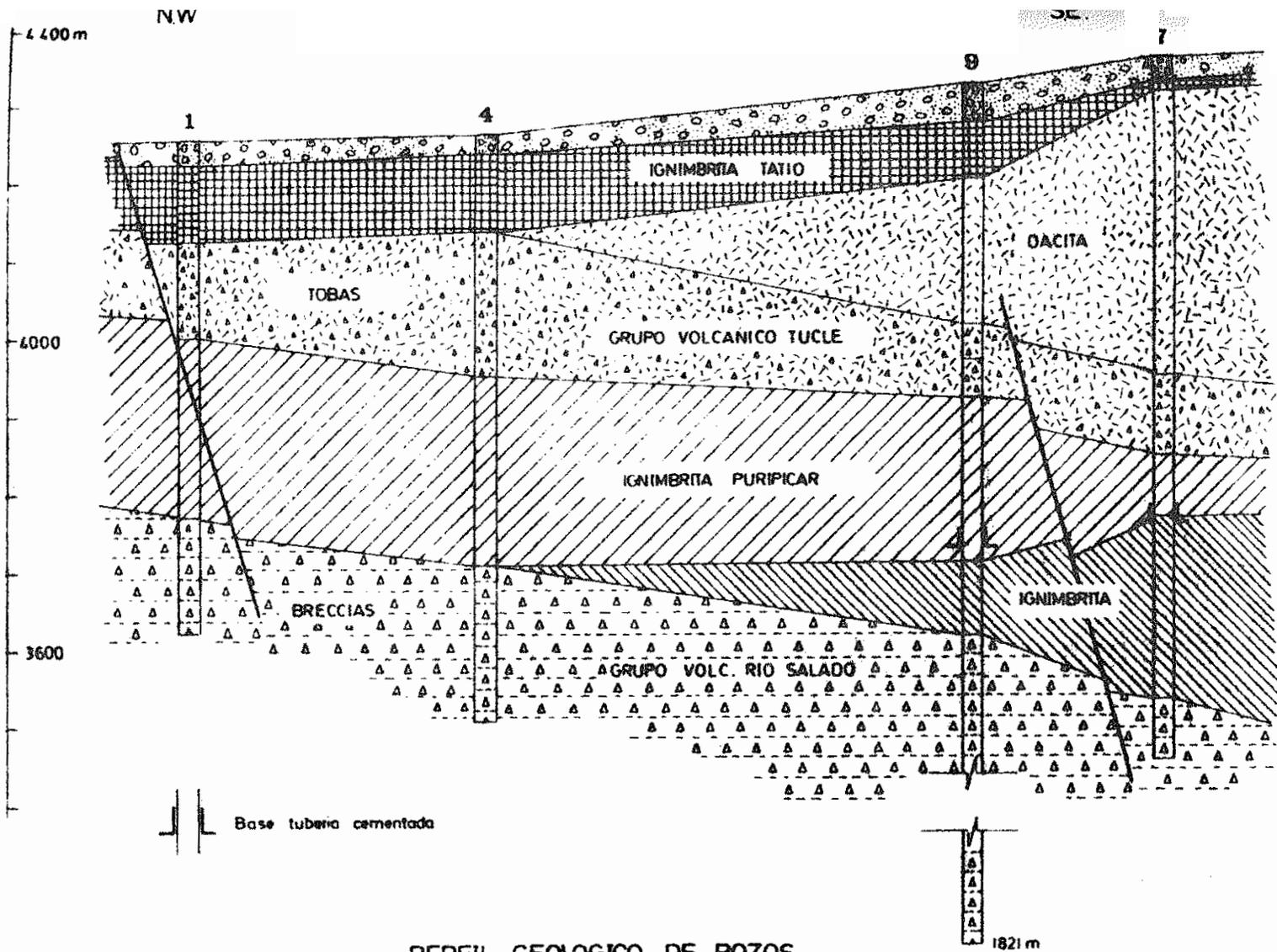
El primero y más superficial de ellos, ubicado en los Volcánicos de Tucle, y el segundo en la Ignimbrita Puripicar, ésta a una profundidad entre 150 m. - 300 m., y tiene una temperatura de 150°C-170°C. La zona productora en la Ignimbrita Puripicar, está a una profundidad entre 450 m. - 600 m., con una temperatura de 200°C-220°C.

Posteriormente, y tomando en cuenta la consideración de la información proporcionada por estos pozos exploratorios, se perforaron entre los años 1973 y 1974 siete pozos de 8.5/8" de diámetro final y profundidades variables entre 860 m. y 1.821 m. con estos pozos se detectó una zona productora de alta entalpia (250°C-260°C) relacionada con la Formación Peñaliri, entre una profundidad de 750 m. a 900 m. (Figura 3).



Modificado P. Trujillo, R. Bravo 1978

### CAMPO GEOTERMICO EL TATIO



PERFIL GEOLOGICO DE POZOS

De estos siete pozos de desarrollo, se encuentran en producción tres de ellos, los números 7, 10 y 11, con una potencia teórica utilizable del orden de 40 MW. Los cuatro restantes no fluyeron o lo hicieron durante un corto período de tiempo, debido a problemas de permeabilidad y por razones de carencia de casing ranurados; sin embargo, a lo menos dos de ellos, los números 8 y 9, son factibles de recuperar, con lo cual aumenta la potencia teórica utilizable, con los pozos perforados hasta la fecha, es del orden de 50 MW como mínimo.

Actualmente, el Tatio se encuentra en la etapa de precalificación de firmas para la próxima construcción de la primera unidad geotermoeléctrica de 30 MW, la que se estima que comience a operar en 1981. Una vez comenzada la construcción de esta primera unidad durante el presente año, se continuará con el desarrollo de El Tatio hasta llegar a su aprovechamiento integral, que no es inferior a 200 MW.

## 5. EL CAMPO GEOTERMICO DE PUCHULDIZA

Las exploraciones de detalle en esta zona se iniciaron a fines de 1969, suspendiéndose en 1972, para reiniciarse a fines de 1974 con el apoyo económico del Gobierno de la I. Región Tarapacá.

Los estudios básicos indican que este campo, al igual que El Tatio, se encuentra emplazado en un graben de origen tecto-volcánico, limitado al este y al oeste por sistema de fallas N-S.

Dentro de este graben se efectuaron prospecciones geoelectricas, según el método Schlumberger con  $AB/2 = 1.000$  m.,  $AB/2 = 500$  m. y  $AB/2 = 250$  m., detectándose una anomalía que se extiende  $28 \text{ Km}^2$  con una resistividad aparente inferior a  $10 \text{ ohm. m.}$ , delimitada por claras estructuras geológicas.

En el área de anomalía geotermal aparecen sectores con resistividades inferiores a los  $5 \text{ ohm. m.}$  ubicándose en la que aparentemente era la más importante de ellas, los pozos de exploración (Figura 4).

Se perforaron en Puchuldiza entre 1975 y 1977 cinco pozos, el primero de ellos con un diámetro final de  $3.3/4''$  y una profundidad de  $640$  m. y los otros cuatro con un diámetro final de  $8.5/8''$  profundidades variables entre  $428$  m. y  $1.013$  m.

De acuerdo a los resultados de estos sondeos, existirían en Puchuldiza dos acuíferos calientes:

Uno superior con una temperatura medida instrumentalmente del orden de  $140^\circ\text{C}$  y otro inferior con una temperatura, también medida, de aproximadamente  $180^\circ\text{C}$ . Sin embargo, las alteraciones hidrotermales presentes en los testigos estudiados de los diferentes pozos se hacen mayores con la profundidad, lo que estaría indicando la existencia de mayores temperaturas en profundidad.

Confirmando lo anterior, están los estudios geoquímicos de las manifestaciones termales del área, que indican que la temperatura a encontrar en profundidad sería de  $220^\circ\text{C}$ . Además, el análisis geoquímico de los fluidos descargados por los pozos números 1, 2 y 3, indican temperaturas de hasta  $248^\circ\text{C}$ , lo que sugería la existencia de flujos superficiales de aguas meteóricas frías.

Actualmente el proyecto se encuentra en la etapa de evaluación de la información obtenida a la fecha y de complementación de los estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos, para determinar el programa a seguir aprovechando así el potencial de  $180 \text{ MW}$ , estimado para Puchuldiza.



6. OTRAS AREAS HIDROTERMALES

En las otras áreas hidrotermales mencionadas en la Introducción, sólo se han efectuado investigaciones preliminares, a excepción de la Zona de Suriri en la cual se han realizado algunos estudios geológicos, hidrogeológicos y térmicos que permiten estimar un potencial aprovechable de 50 MW.

Dadas sus características geológicas, Chile es un país privilegiado en cuanto a sus posibilidades en recursos geotérmicos, a lo largo de toda la cadena de actividad magmática de la Cordillera de los Andes, razón por la cual el Comité Geotérmico CORFO está efectuando un Catastro a nivel nacional de las áreas hidrotermales del país, para bosquejar el potencial geotérmico nacional y elaborar los planes de desarrollo de este recurso de acuerdo a las necesidades de las diferentes zonas.

## 7. OTROS ESTUDIOS

Debido a la falta de recursos hídricos en la zona Norte del país, en El Tatio no sólo se han efectuado las exploraciones, perforaciones y desarrollo señalado, sino que además se ha estudiado la utilización del agua geotermal para el consumo humano.

Para ésto se ha contado con una planta desalinizadora piloto, obsequiada a Chile por el Gobierno Británico, con una capacidad de producción de agua dulce de 0.25 lt./seg.

En lo principal esta planta consta de un evaporador de película vertical descendente, en el cual se aprovecha la misma entalpia del agua proveniente de un pozo geotérmico para producir su autoevaporación.

Las experiencias llevadas a cabo en la planta piloto entre Octubre de 1974 y Abril de 1975, permitieron demostrar la factibilidad técnica de producir agua dulce, estudiar las posibilidades de diseño de una Planta Industrial y obtener antecedentes acerca de la recuperación de elementos tales como: Li, Cs, Rb, K, presentes en las salmueras resultantes.

A modo de ejemplo del éxito alcanzado en estos estudios, se puede decir que el agua geotermal entrante a la unidad desalinizadora contiene, entre otros, 8.500 ppm. de cloruros y 40 ppm. de arsénico, y el agua producida no tiene más allá de 25 ppm. de cloruros y no contiene arsénico (análisis para arsénico con una sensibilidad de 0,01 mg/lt.)

EL SALVADOR

RECURSOS GEOTERMICOS EN EL SALVADOR

AUTORES:

Ings. Gustavo Cuellar  
Mauricio E. Retana  
Oscar Díaz

Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica  
del Río Lempa (CEL)

/ RECURSOS GEOTERMICOS /

/ \* GEOTERMIA \*

EL SALVADOR

/ 1976 :

## CONTENIDO:

### RESUMEN

1. INTRODUCCION
2. AREAS GEOTERMICAS
3. GEOFISICA
4. CAMPO GEOTERMICO DE AHUACHAPAN

## RECURSOS GEOTERMICOS EN EL SALVADOR

### RESUMEN

La experiencia obtenida en la exploración, evaluación y explotación del campo geotérmico de Ahuachapán, está siendo aplicada en la investigación de nuevas áreas geotérmicas en el Oriente del país, las cuales son conocidas con los nombres de Berlín-Lempa, Chinameca y San Vicente. Los métodos convencionales de exploración aplicados en nuestro medio en la investigación de recursos geotérmicos, han sido de gran eficacia. En particular el método geoelectrico ha contribuido grandemente a localizar zonas geotérmicamente anómalas y a delimitar los campos. En el área de Berlín, se encuentra en proceso una campaña de perforaciones exploratorias profundas, cuyos resultados preliminares son sumamente satisfactorios. Una campaña similar será desarrollada en breve en el área de Chinameca.

El campo geotérmico Ahuachapán, ha alcanzado su punto de equilibrio con el actual régimen de explotación. Se ha comprobado que el reservorio del campo recibe una recarga natural, que juntamente con el aporte artificial, proveniente de la reinyección del agua residual, garantizan por tiempo indefinido la explotación del campo.

En el año 1977, la energía geotérmica contribuyó con el 32% a la producción total energética del país. El impacto económica causado por este sistema de generación no convencional, se considera de gran trascendencia y constituye una muestra feaciente de la importancia económica que representan los recursos geotérmicos, en aquellos países donde los recursos petrolíferos no existen y donde los recursos hidráulicos son deficientes.

## 1. INTRODUCCION

El Salvador es un país que no cuenta con reservas petrolíferas y sus recursos hidráulicos han llegado a la etapa de su máximo aprovechamiento. La situación geológica de carácter enteramente volcánico, abre nuevos horizontes encaminados a suplir la demanda energética actual y futura, mediante el aprovechamiento de los recursos geotérmicos. Actualmente se encuentran en explotación el campo geotérmico Ahuachapán y en proceso de investigación las áreas geotérmicas de Berlín-Lempa, Chinameca y San Vicente (Figura 1). El marco geológico general del país (Figura 2), refleja las condiciones volcánicas en que se desarrolla el territorio nacional, lo cual es favorable para la proyección de investigaciones tendientes a la explotación de los recursos geotérmicos.

En el presente trabajo se concretizan los avances obtenidos en la exploración de los nuevos prospectos y se acentúan las proyecciones futuras de aprovechamiento del recurso geotérmico para la generación eléctrica. La participación de este sistema no convencional, es en nuestro país cada vez más decisiva. Para el año 1979 se tiene proyectado la entrada en operación de la tercera unidad generadora en el campo de Ahuachapán, cuya capacidad será de 35 MW. En la zona Oriente se proyecta la instalación de una central, cuya operación debe iniciarse en el año 1984.





## 2. AREAS GEOTERMICAS

### 2.1 Campo Geotérmico de Ahuachapán

El ambiente geológico bajo el cual se desarrolla el campo geotérmico Ahuachapán, corresponde al volcanismo reciente (Figura 3). Los centros erúpticos Cuaternarios: Laguna Verde y Laguna Las Ninfas, constituyen la fuente calórica del campo y la principal área de recarga del reservorio. El basamento del campo lo constituyen rocas aglomeráticas de carácter impermeable pertenecientes al volcanismo Terciario. Las rocas del reservorio están constituidas por una serie de estratos lávicos de gran potencia denominadas "Andesitas Basales de Ahuachapán". Estas están distribuidas regularmente sobre el basamento Terciario y provienen de erupciones fisurales. Cubriendo esta formación se encuentran rocas tobáceas aglomeráticas de menor edad, las cuales constituyen el sello del reservorio. Sobreyaciendo a éstas se halla una sucesión de lavas y tobas, las cuales representan la fase efusiva final de la actividad volcánica de la región.

El sistema hidrotermal fluye de sur a norte; tiene su principal recarga en la cadena volcánica a la cual pertenecen los volcanes mencionados. La descarga natural del reservorio geotérmico, la efectúa por medio de la fuente termal El Salitre, situado a 5 Km al norte del campo.

El área de explotación del campo es aproximadamente de 2.5 Km<sup>2</sup>. En él se han perforado en total 27 pozos profundos, de los cuales unos son para fines de producción, otros de doble propósito producción-reinyección y finalmente unos exclusivamente de exploración.

El régimen de explotación de campo, actualmente es de 60 MW, producción que será incrementada en breve a 95 MW. Las aguas residuales del campo son devueltas al subsuelo mediante pozos de reinyección, creando en esta forma una recarga artificial al reservorio del campo y evitando la contaminación ambiental.

### 2.2 Campo Geotérmico de Chipilapa

Este campo está situado a 3 Km al este de Ahuachapán. Su

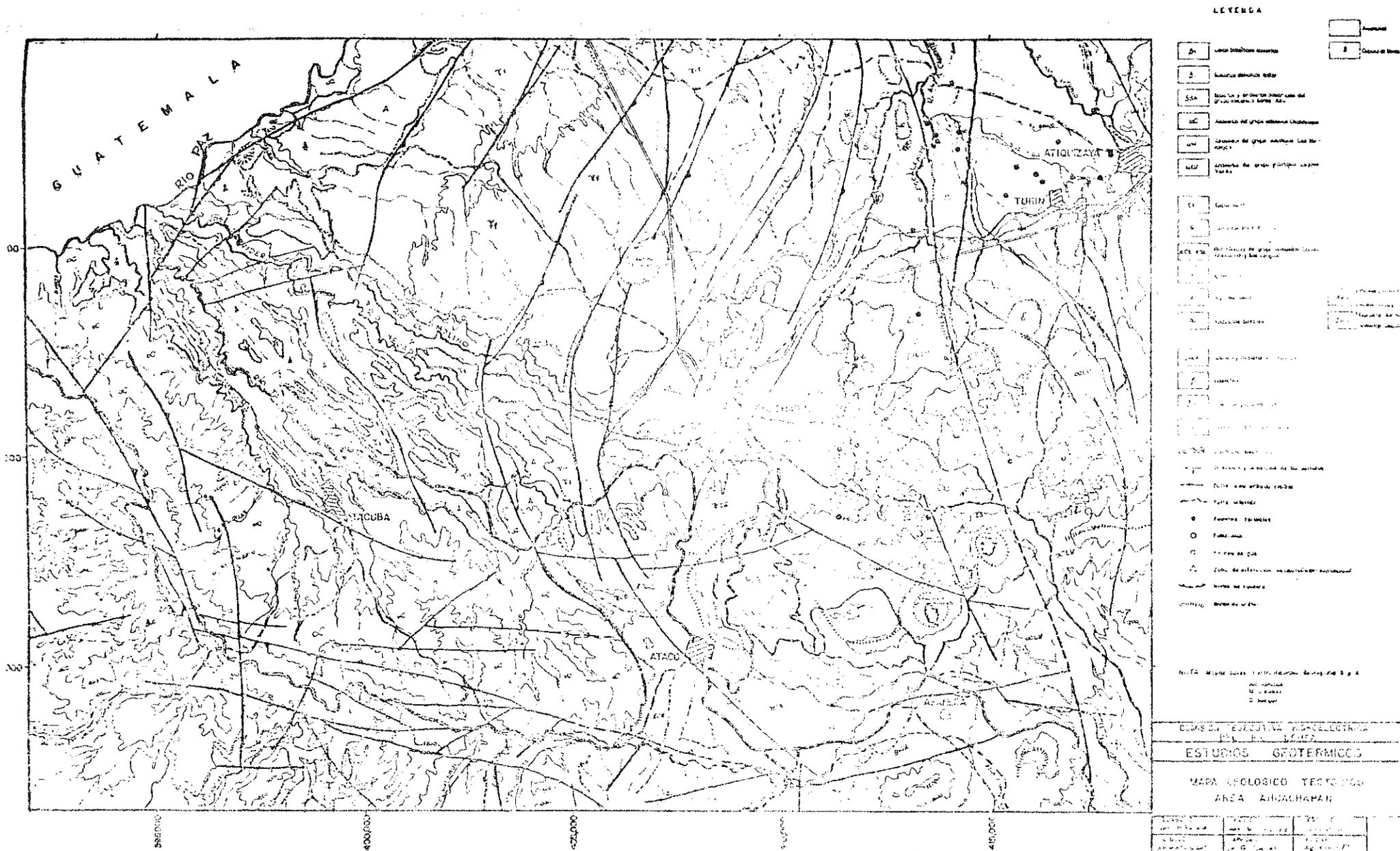


FIGURA 3

origen y ambiente geológico es similar al anterior. Se encuentran ambos separados por una barrera de rocas volcánicas de baja permeabilidad. A finales de la década pasada, se perforó en este campo, un pozo exploratorio profundo cuyos resultados indican la presencia de fluidos geotérmicos a alta temperatura (mayor de 200°C). Recientes investigaciones realizadas en el área, han puesto de manifiesto perspectivas de una explotación económica del campo. Un programa de perforaciones exploratorias profundas integrativas será puesto en marcha en los próximos días.

### 2.3 Campo Geotérmico de Berlín

El campo geotérmico de Berlín se desarrolla en la falda noroeste del grupo volcánico del mismo nombre (Figura 4). Está directamente asociado con la actividad volcánica de edad reciente, que tuvo lugar dentro de la caldera del primitivo volcán. La fase final de esta actividad está representada principalmente por los conos volcánicos Tecapa y El Hoyón, en cuyos cráteres aún se observa actividad fumarólica. Las manifestaciones hidrotermales principales son las denominadas Tronador y La Esmeralda, las cuales se localizan dentro de un graben secundario, que ocasionó la ruptura y hundimiento parcial de la mencionada caldera.

Mediante análisis geoquímicos de agua proveniente del pozo profundo TR-1, se ha comprobado la existencia de un acuífero regional profundo salino y de alta temperatura.

Los análisis de gases de las fumarolas localizadas en los cráteres Laguna de Alegría y El Hoyón, denotan alto contenido de H<sub>2</sub>, lo cual significa la presencia de vapor a elevada temperatura. Los análisis de gases practicados en las fumarolas El Tronador y la Esmeralda, indican la presencia en el subsuelo de vapor a temperatura mayor de 200°C. Los geotermómetros indican igualmente temperaturas en el subsuelo de un rango de 200-250°C.

La prospección geoelectrica de reconocimiento ha delimitado dos áreas de baja resistividad, las cuales en conjunto cubren unos 14 Km<sup>2</sup> (Figura 5). Estas anomalías se encuentran en correspondencia con la primitiva caldera y el graben secundario descritos.

La prospección de detalle realizada dentro del área anómala, contribuyó grandemente a establecer un modelo primario de las condiciones estructurales existentes, la cual se muestra en la Figura 6.



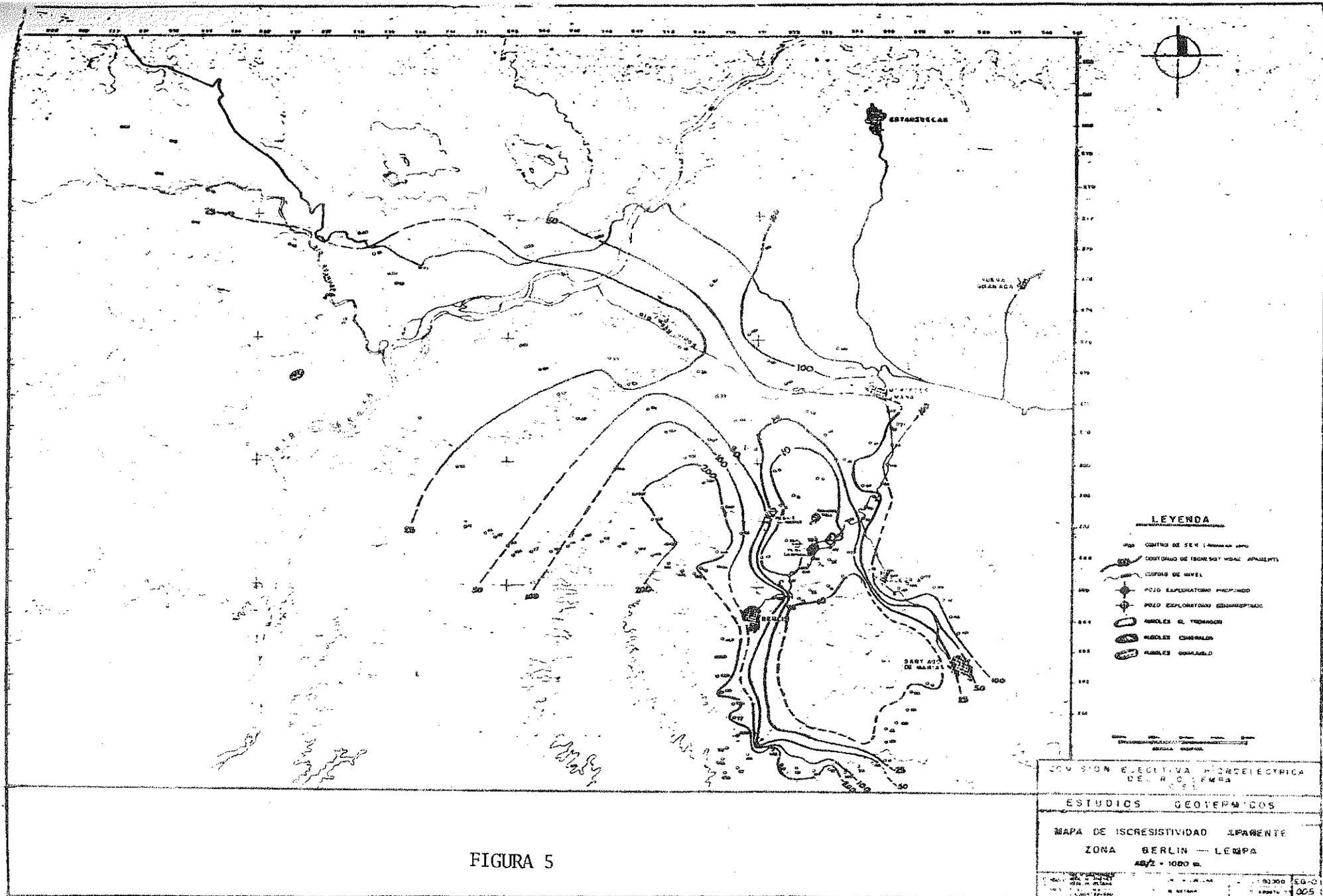


FIGURA 5

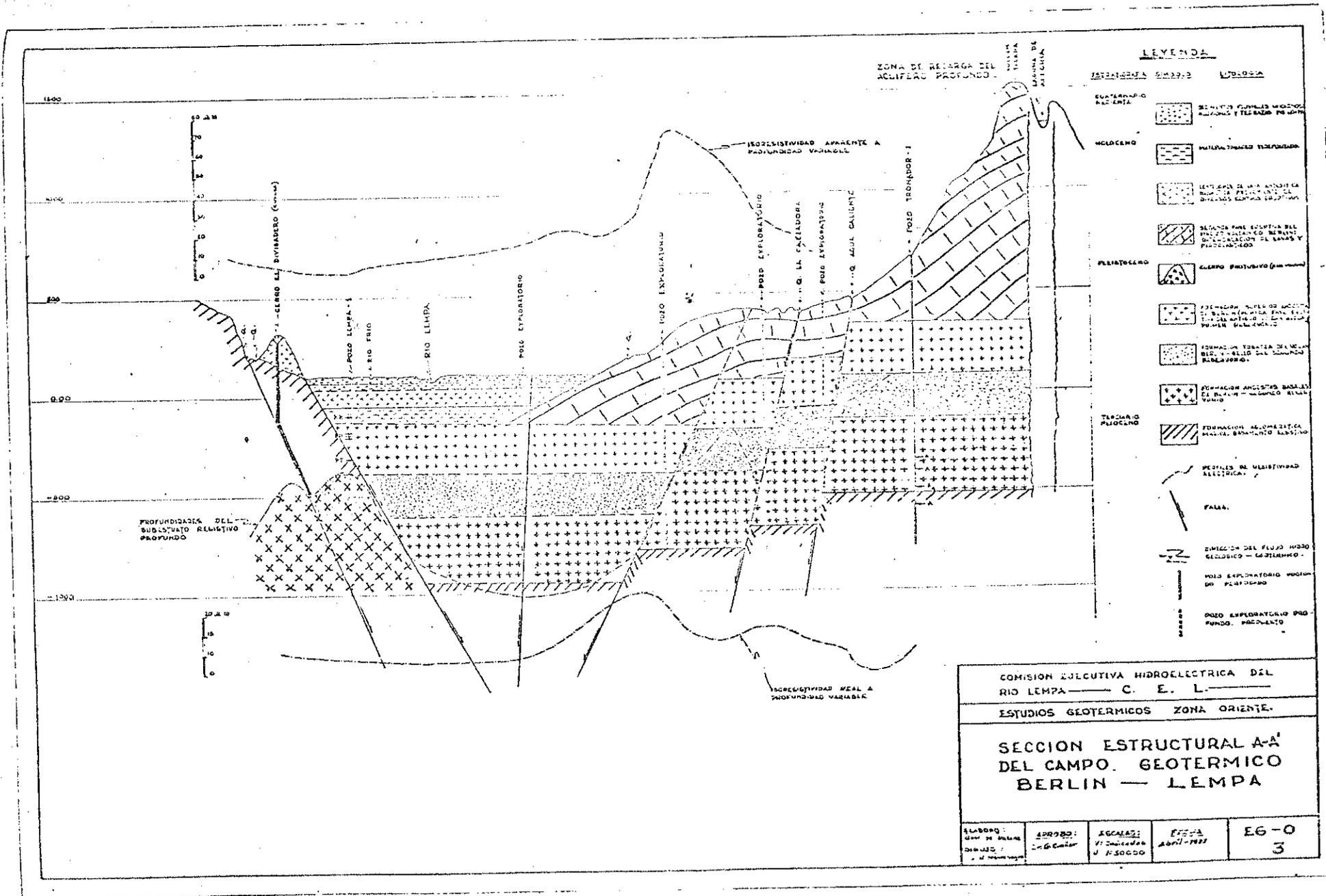


FIGURA 6

Algunos rasgos estructurales tectónicos y litológicos fueron comprobados mediante la campaña de perfiles magnéticos.

Tanto la antigua caldera, como la depresión del graben secundario, así como otras estructuras primarias fueron definidas con mucha claridad mediante la elaboración de mapas gravimétricos de la anomalía de Bouguer.

En el año 1968 se perforó el pozo exploratorio profundo Tronador 1, cuyos resultados obtenidos demuestran la presencia en el subsuelo de fluidos geotérmicos de alta temperatura y presión. Las condiciones de permeabilidad del pozo son limitadas, por tal razón, el pozo fluye con baja producción. La Figura 7 corresponde al perfil litológico del pozo, en él se han graficado además un registro de temperatura y otro de flujo.

En base a las investigaciones integrativas actuales, se han perforado en esta zona dos pozos exploratorios de gradiente; los cuales han comprobado, en gran parte, las anomalías geotérmicas detectadas mediante la prospección geoelectrica.

La evaluación de los datos obtenidos en las investigaciones permitieron ubicar los primeros dos pozos de exploración-producción TR-2 y TR-3, el primero de los cuales se encuentra en su fase final de perforación. Los resultados finales de ésta aún no se conocen; sin embargo, las características observadas denotan buenas posibilidades de éxito.

#### 2.4 Campo Geotérmico Obrajuelo - Lempa

Está localizado en el valle del Río Lempa, al oeste del Campo Berlín (Figura 4). El ambiente geológico bajo el cual se localiza la principal actividad geotérmica superficial, denominada Obrajuelo, corresponde a rocas volcánicas de edad Terciaria. Dicha circunstancia geológica no es favorable para la localización de reservorios geotérmicos económicamente explotables, debido a la baja permeabilidad de la formación.

Los estudios hidrogeológicos realizados indican la presencia de un sistema hidrogeológico independiente del de Berlín. Ambos sistemas se mezclan subterráneamente en el centro del valle, como se indica en la Figura 5.



El bajo porcentaje de  $\text{SH}_2$  y  $\text{CO}_2$  indica la presencia de baja temperatura en los fluidos circulantes en el área.

Un pozo exploratorio profundo denominado Lempa-1, perforado en el año 1968 se encuentra localizado en la zona marginal del campo. Este pozo produjo únicamente agua a temperatura de  $107^\circ\text{C}$ .

## 2.5 Campo Geotérmico Chinameca

Este campo se extiende predominantemente en la falda norte del grupo volcánico Chinameca (Figura 4). Dicha actividad comprende dos fases erúpticas; la primera ocurrida a finales del Plioceno, y corresponde a la formación del primitivo volcán Chinameca. La estructura del volcán original fue colapsada posteriormente, en época reciente, por fallas de rumbo NNW a través de las cuales surgió una nueva actividad efusiva que dio origen a la reciente actividad volcánica representada por el cráter Laguna El Pacayal. Las principales manifestaciones geotermiales denominadas, La Viejona e Infiernillos, están asociados genéticamente a la actividad volcánica Cuaternaria. La zona de alteración hidrotermal es sumamente extensa, el alto grado de caolinización mostrado por las rocas superficiales indica la presencia de fluidos geotérmicos de alta temperatura.

El alto porcentaje de  $\text{SH}_2$  y  $\text{CO}_2$  detectado en los gases fumarólicos, indican la presencia de alta temperatura en el subsuelo.

Hasta el momento no se ha podido precisar la existencia en el subsuelo de un sistema hidrotermal, tal situación será posible dilucidarse mediante la perforación de pozos exploratorios actualmente en proceso.

Con la prospección geoelectrica de reconocimiento, se han delimitado tres zonas de anomalías de baja resistividad aparente, las cuales se muestran en la Figura 8. Dos de ellas ubicadas en la falda norte del grupo volcánico, se encuentran en correspondencia con la estructura secundaria que colapsó el aparato volcánico primitivo y que supuestamente constituyen el reservorio geotérmico del campo. La tercera ubicada más hacia el norte de las anteriores, se supone que es originada por la descarga subterránea del reservorio geotérmico.

La estructura subterránea está reflejada en el mapa gravimétrico de la anomalía de Bouguer, la cual consiste principalmente de una depresión en forma de graben de dimensiones moderadas, orientada de norte a sur sobre el aparato volcánico de Chinameca.

Basados en la evaluación e interpretación de los resultados obtenidos, se procedió a realizar un programa de perforaciones exploratorias ubicadas dentro de las áreas de anomalías geotérmicas. Dichas perforaciones actualmente se encuentran en proceso; la información hasta hoy obtenida ha sido de gran interés.

Se ha planificado realizar, posteriormente al programa actual de perforaciones de gradiente, perforaciones exploratorias profundas, tendientes a confirmar la presencia del reservorio geotérmico del área.

## 2.6 Campo Geotérmico San Vicente

Este campo se desarrolla en la falda del volcán San Vicente o Chinchontepec (Figura 4), el cual está formado por dos conos gemelos Cuaternarios asentados sobre un aparato volcánico Terciario colapsado. Las principales manifestaciones geotérmicas superficiales las constituyen las denominadas San Francisco, Agua Agria e Infiernillo Ciego, ambas ubicadas sobre la cota aproximada de 800 msnm y distantes una de la otra aproximadamente 2 Km.

Análisis geoquímicos de gases indican la presencia de fluidos geotérmicos de alta temperatura en el subsuelo, la cual se estima en un rango de 200 - 250°C. La extensa zona de alteración hidrotermal consistente en caolinización de las rocas, denota igualmente la presencia de alta temperatura.

Las condiciones geoestructurales observadas en la zona sugieren que el reservorio geotérmico podría desarrollarse en el área comprendida entre las manifestaciones descritas.

Actualmente se encuentran en proceso de evaluación e interpretación los datos de los análisis geoquímicos practicados en muestras de agua recolectadas durante el inventario de puntos de agua.

En breve serán desarrolladas las campañas geeléctricas de reconocimiento, mediciones gravimétricas y magnetométricas. Terminadas éstas, se procederá a ubicar y efectuar las perforaciones exploratorias de gradiente.

### 3. GEOFISICA

#### 3.1 Método Geoeléctrico

La eficacia del método de resistividad eléctrica en la exploración geotérmica en nuestro medio, es indiscutible. Inicialmente fue aplicado con éxito en el área de Ahuachapán. Los límites del campo fueron trazados con mucha precisión.

La actual zona de explotación corresponde exactamente al área anómala de más baja resistividad. La mayoría de los pozos productores fueron ubicados con auxilio de la resistividad eléctrica.

El área geotérmica de Chipilapa, vecina al campo geotérmico de Ahuachapán, ha sido delimitada mediante el método de resistividad eléctrica. Este campo entrará en breve en la etapa de evaluación.

En el área geotérmica de Berlín-Lempa, han sido delimitadas tres zonas de anomalías geotérmicas de baja resistividad (Figura 5). La anomalía ubicada en el área de mayor elevación, cuyo valor resistivo es de 10  $\Omega$ m, se encuentra en coincidencia con la primitiva caldera del volcán Berlín. Dicha caldera está ocupada actualmente por varios conos volcánicos pertenecientes a la segunda fase eruptiva. Se considera que la cámara magnética que dio origen a la actividad volcánica descrita, constituya la fuente calórica del campo.

La otra anomalía de baja resistividad, localizada al noroeste de la anterior, ocupa la depresión formada por el graben secundario que colapsó la caldera del antiguo volcán Berlín. Sobre esta anomalía se perforó en el año 1968 el pozo Tronador-1. En la actualidad se encuentra en proceso de perforación un nuevo pozo profundo exploración-producción, con el cual se espera atravesar formaciones de mayor permeabilidad. Un tercer pozo será perforado en esta área, el cual ha sido ubicado con el mismo criterio.

La tercera zona anómala de baja resistividad, de valor 20-25  $\Omega$ m, ocupa el valle Aluvial formado por el Río Lempa y el cauce bajo del Río Acahuapa. Esta anomalía ha sido comprobada por el pozo profundo Lempa-1, y corresponde a un reservorio de agua caliente, cuya temperatura alcanza 107°C

En base a la interpretación de los sondeos eléctricos verticales, las calicatas eléctricas, los perfiles litológicos de los pozos y observaciones geológicas de campo, se elaboró el modelo estructural del campo Berlín-Lempa, el cual se muestra en la Figura 6.

En el área geotérmica de Chinameca se detectaron 3 zonas de anomalías geotérmicas, las cuales están indicadas en la Figura 8. Dos de ellas, ubicadas en la falda norte del aparato volcánico Chinameca, están conectadas entre sí. La tercera, ubicada más hacia el norte de las anteriores, se considera que podría corresponder a la descarga subterránea del reservorio geotérmico localizado directamente debajo de las anomalías anteriores.

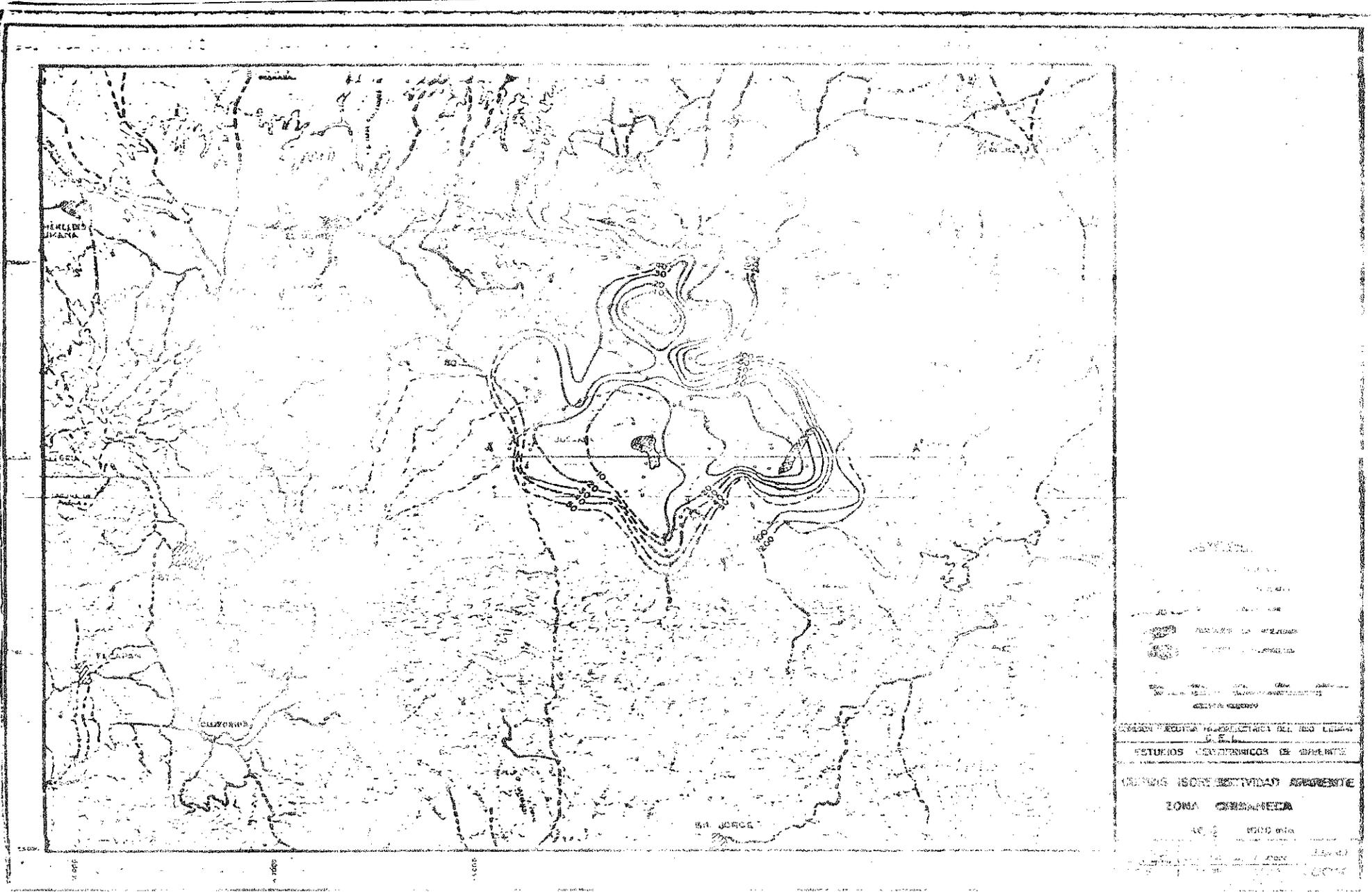
Una sección geoelectrica reconstruida en base a sondeos eléctricos verticales (Figura 9), muestra la distribución de los estratos isoresistivos. En ella se aprecia que los valores de más baja resistividad se localizan en correspondencia con las áreas de manifestaciones geotérmicas superficiales. La extensa zona de baja resistividad, distribuida en tres dimensiones, hace suponer que en el área se ha formado un auto-sello. La presencia del reservorio geotérmico será comprobada mediante las perforaciones exploratorias profundas programadas para los próximos días.

Actualmente se perforan en el área pozos de gradiente de mediana profundidad.

### 3.2 Método Gravimétrico

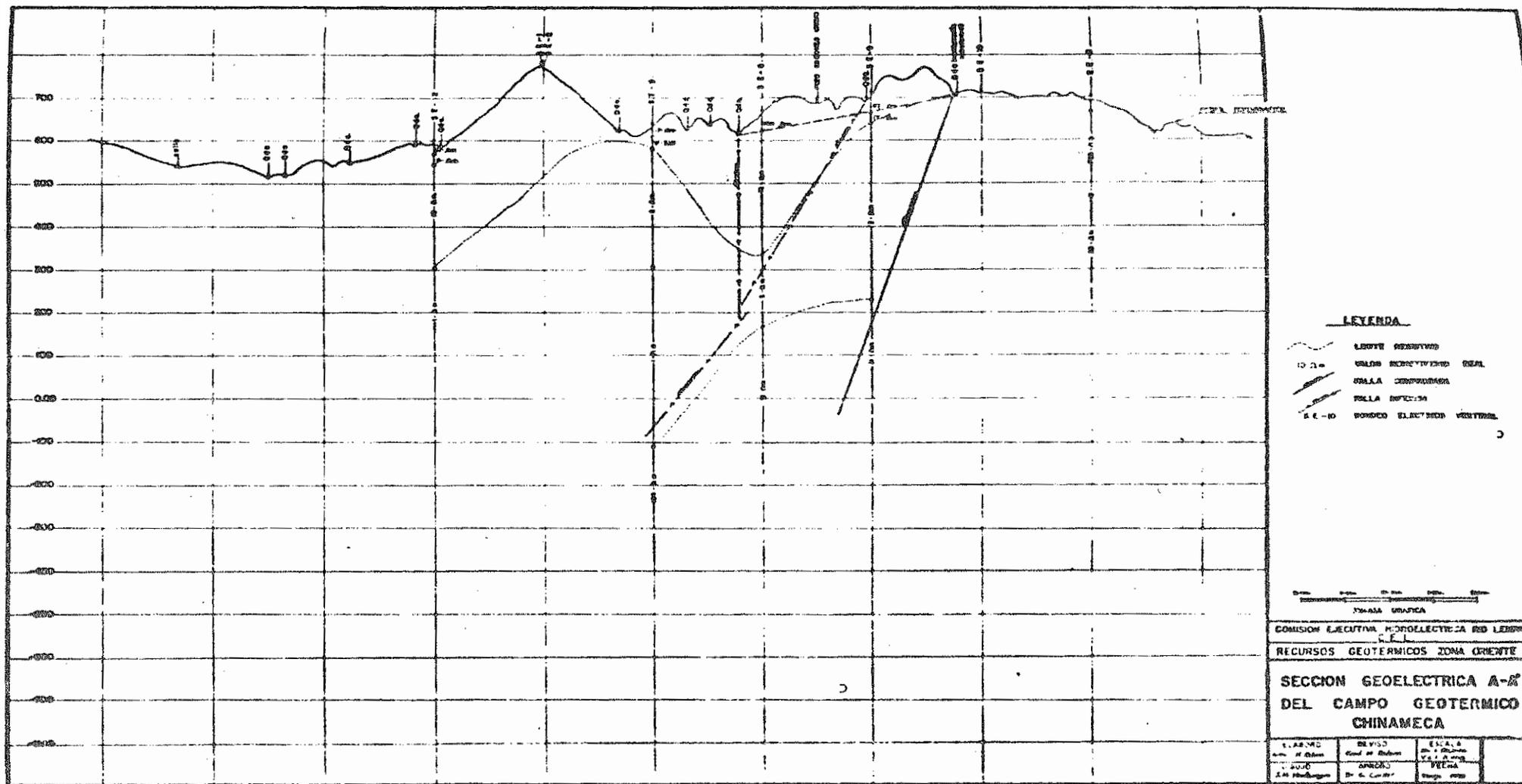
Con el fin de determinar las estructuras geológicas subterráneas favorables para la acumulación de fluidos geotérmicos, se han realizado en las diferentes áreas exploradas, campañas de mediciones gravimétricas a nivel regional. Se han elaborado mapas de contornos de la anomalía de Bouguer simple a diferentes densidades. Mediante la interpretación de ellos ha sido posible definir con mayor claridad algunas estructuras secundarias ocultas y seguir con una gran precisión los límites de las estructuras regionales.

En el área de Ahuachapán se suponía que las manifestaciones superficiales, incluyendo el campo en explotación y el campo de Chipilapa, estaban ubicados dentro de una caldera



INSTITUTO  
 DE INVESTIGACIONES  
 CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS  
 DE LA UNAM  
 CENTRO DE INVESTIGACIONES  
 EN GEOMORFOLOGÍA Y  
 PALEOANTROPOLOGÍA  
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
 CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS  
 DE LA UNAM  
 ESTUDIOS GEOMORFOLÓGICOS DE GRANITO  
 CAMBIO ISOSTÁTICO Y ASPECTO  
 ZONA CARRIZO  
 1:50,000  
 1960

FIGURA - 9



dislocada y cubierta por materiales efusivos provenientes de la actividad volcánica reciente. Las mediciones gravimétricas no parecen comprobar tal suposición. La interpretación de los mapas de la anomalía de Bouguer indican más acertadamente, que los campos geotérmicos de la zona se desarrollan dentro grabenes secundarios. La mayor parte de pozos productores están localizados en la proyección de zonas fracturadas.

En la región de Berlín-Chinameca, los mapas gravimétricos de la anomalía de Bouguer (Figura 10), han puesto al descubierto varias estructuras de interés geotérmico. En ellos se pueden apreciar con mucha claridad los límites de los grabenes regionales del Río Lempa y de la Fosa Central; así como también otros grabenes secundarios localizados al noroeste del volcán Berlín y al norte del volcán Chinameca. Estas últimas estructuras son consideradas de sumo interés desde el punto de vista geotérmico, ya que se encuentran asociados con la actividad volcánica joven y pueden, por lo tanto, almacenar bajo condiciones litotratigráficas favorables, recursos geotérmicos económicamente explotables.

### 3.3 Método Magnético

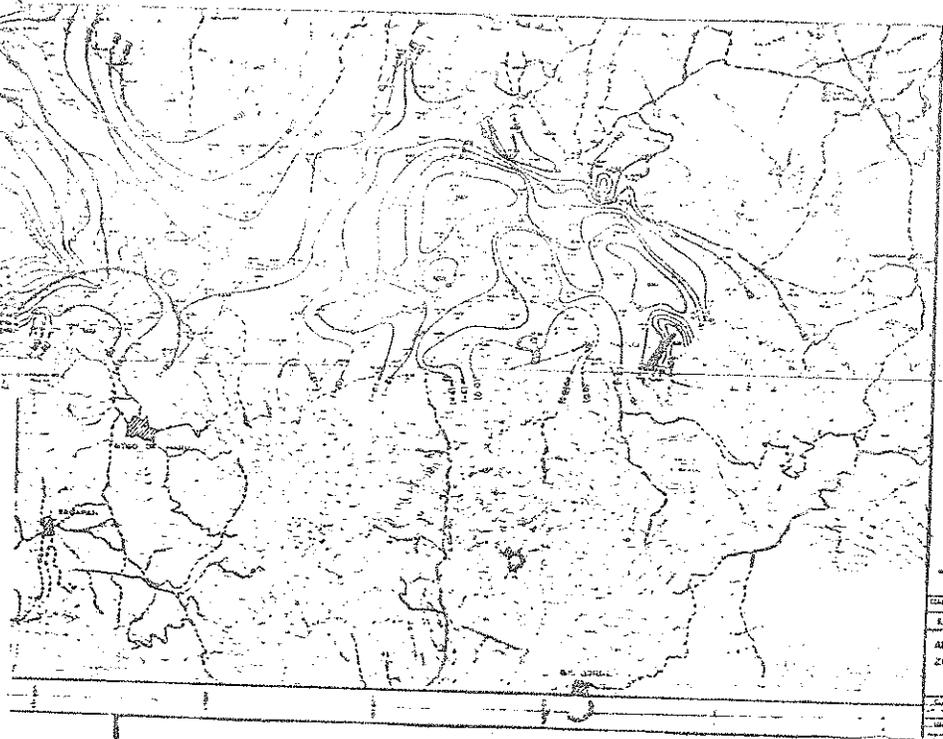
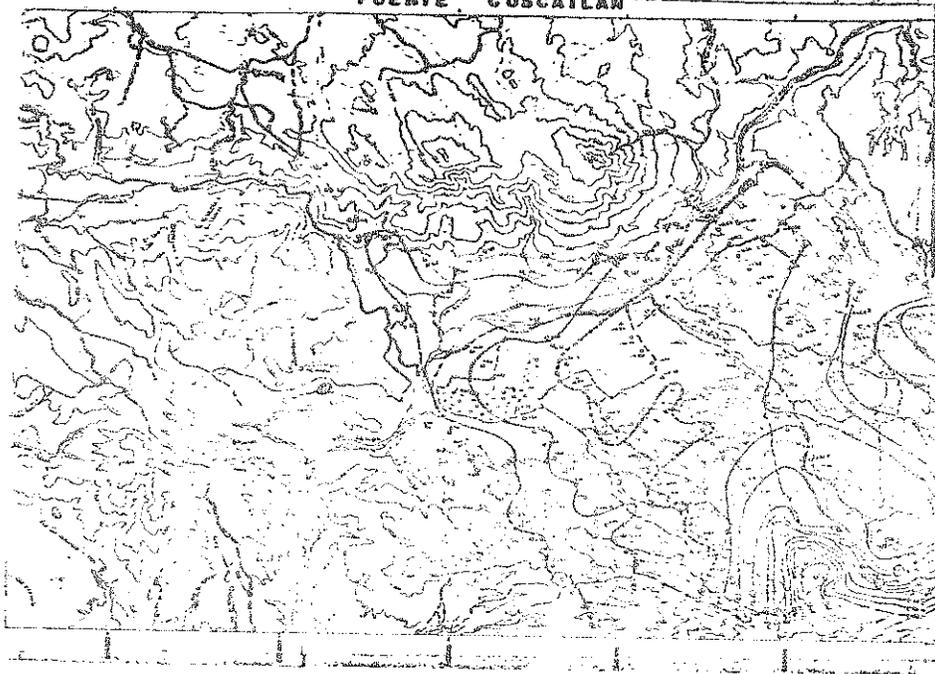
La aplicación de este método ha sido de gran utilidad en el mapeo de accidentes geológicos ocultos, tales como fallas, diques y contactos.

En el área de Berlín, a lo largo de las líneas de la cuadrícula de resistividad, se trazaron perfiles magnéticos. En ellos se puede apreciar con mucha claridad la presencia de fallas y los contactos entre formaciones litológicas diferentes.

La Figura 11 muestra el mapa de curvas isogamas correspondiente a la prospección regional del área Berlín-Chinameca. En él se puede apreciar la distribución de valores magnéticos correspondientes a diferentes tipos de formaciones litológicas.

PUENTE GUSCATLAN

FIGURA - 10

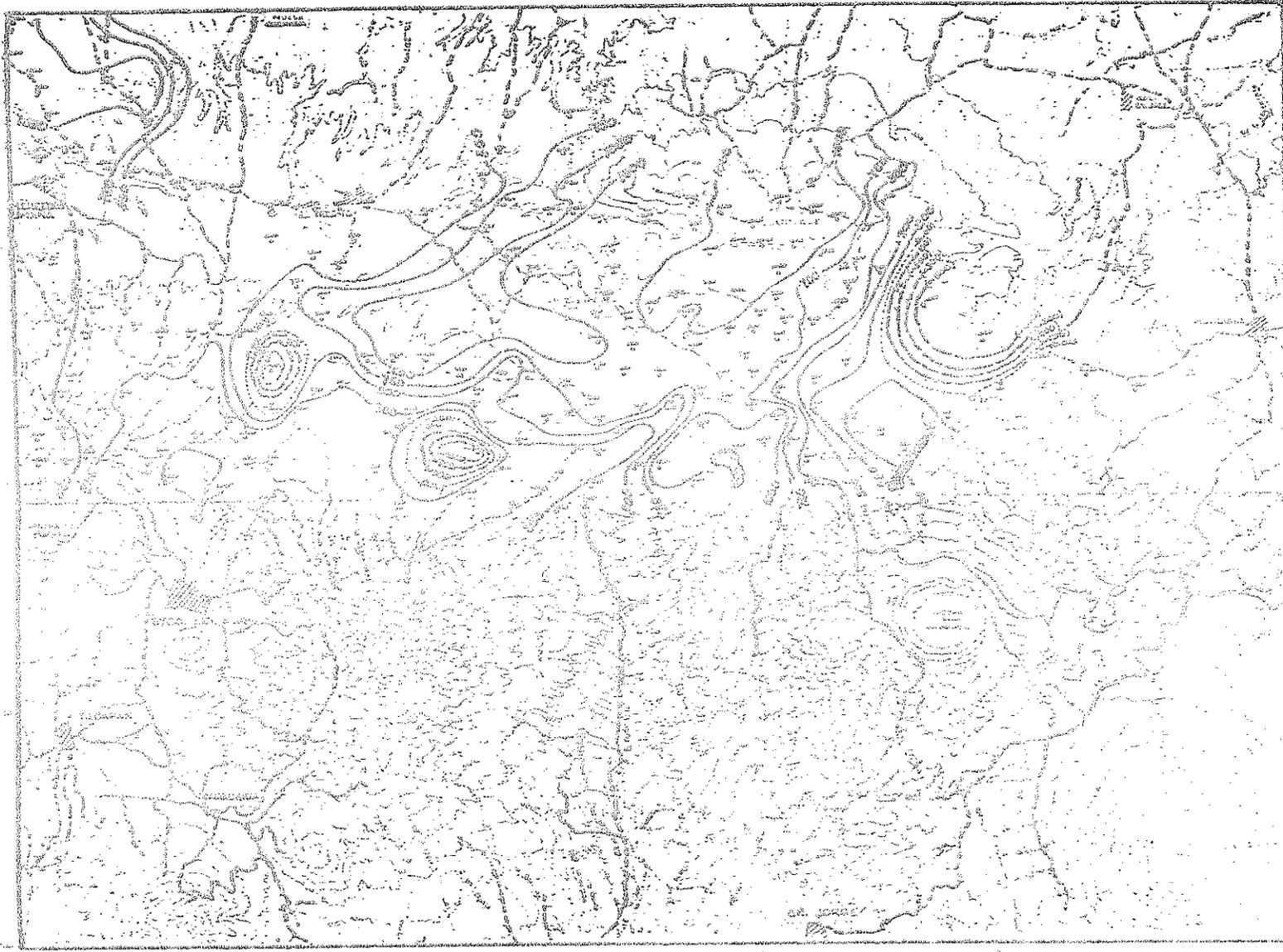


LEYENDA

- 0 — ANOMALIAS DE BOUQUEN (Elevación y Depresión)
- 0 — ANOMALIAS DE BOUQUEN (Elevación y Depresión)
- 0 — ANOMALIAS DE BOUQUEN (Elevación y Depresión)
- 0 — ANOMALIAS DE BOUQUEN (Elevación y Depresión)

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS	SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y FOMENTO
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA	
SERVICIO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	
ANOMALIAS DE BOUQUEN (Elevación y Depresión)	
ZONA SIERRA MARIA - CRISTALINA	
Escala = 1:50,000	
Elaborado por: [ ]	Revisado por: [ ]
Fecha: [ ]	Hoja: [ ]

FIGURA - II



Escala  
 1:50,000  
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Kilómetros

Leyenda  
 - - - - - Línea de divisoria de aguas  
 - - - - - Línea de drenaje  
 - - - - - Línea de nivelación  
 - - - - - Línea de perfil  
 - - - - - Línea de nivelación  
 - - - - - Línea de nivelación

INSTITUTO GEOLÓGICO NACIONAL DEL PERÚ  
 ESTADOS GEOLÓGICOS DE CUERPO

MAPA DE CURVAS NIVELADAS  
 AREA GEOTERMICA  
 CUNARECA - SANTIAGO MARÍA

ESTADO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	ESQUEMA
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10

#### 4. CAMPO GEOTERMICO DE AHUACHAPAN

El campo geotérmico de Ahuachapán, actualmente bajo explotación, cubre un área aproximada de 2.5 Km<sup>2</sup> y se encuentra situado al oeste de El Salvador en el flanco norte de la cadena volcánica del Cuaternario que atraviesa casi sin interrupciones todo el país, siguiendo la dirección del graben central. Dicho graben se encuentra relleno de materiales eruptivos expulsados por los centros volcánicos Cuaternarios.

El área bajo explotación parece ser solamente una parte de un sistema hidrotermal más complejo que se extendería hacia el este en una distancia aproximada de 10 Km. Actualmente se realizan perforaciones exploratorias con el fin de investigar esta área, habiéndose encontrado temperaturas mayores de 200°C a 400 m de profundidad.

Las manifestaciones superficiales del sistema hidrotermal de Ahuachapán se caracterizan por ser de carácter fumarólico en los flancos del sistema volcánico, acompañadas de extensas áreas de alteración hidrotermal y manantiales de carácter ácido, y en las zonas bajas del macizo volcánico por manantiales calientes de tipo Cl - HCO<sub>3</sub>, que disminuyen en T y salinidad en dirección norte.

Actualmente se han perforado 27 pozos profundos en el área, de los cuales 12 son productores, 4 de reinyección y 11 exploratorios de limitada producción algunos de ellos. Los pozos de producción descargan una mezcla agua-vapor en proporciones de 11% hasta 46%. El estrato productor se ha encontrado con espesores hasta de 300 m, la máxima temperatura medida es de 241°C. El rango de producción es de 102 a 550 Ton/hr de mezcla.

En base a los buenos resultados obtenidos de los pozos perforados, se han instalado dos unidades de media presión con una capacidad de generación de 30MW cada una, las cuales son alimentadas con el vapor separado de 9 pozos con un promedio de 8.8 MW por pozo. La operación comercial de la primera unidad se inició en junio de 1975 y la segunda unidad en junio de 1976.

El estudio del campo durante casi 3 años de explotación, permitió tomar la decisión para la instalación de la tercera unidad generadora de 35 MW de doble presión que entrará en operación a principios de 1980.

#### 4.1 Características del Reservorio

Programas de mediciones rutinarias que comprenden registros de temperatura y presión, mediciones de producción y muestreos químicos, se efectúan periódicamente en los pozos perforados que interceptan el reservorio de Ahuachapán.

La Figura 12 presenta gráficas típicas de temperatura y presión medidas en los pozos. La curva A es la temperatura del pozo Ah-1, similar al resto de temperaturas obtenidas de los pozos productores; puede observarse que a una profundidad de 700 metros alcanza 234°C. La distribución vertical de la temperatura, se caracteriza por un aumento gradual del gradiente hasta alcanzar el reservorio, después del cual se mantienen los valores que oscilan entre los 220-235°C. La curva B, presenta la distribución de temperatura, en un pozo que está fuera del área de producción, y que muestra un gradiente relativamente constante, con una temperatura máxima de 145°C en el fondo del pozo, a 1.530 metros de profundidad. La curva C, muestra la distribución de presión del pozo Ah-1, productor, en condiciones estáticas. Se observa un incremento de la presión a partir del nivel de agua; la presión inicial generalmente es causada por la acumulación de gases no condensables a elevada temperatura, en la tubería.

El agua descargada por los pozos de Ahuachapán está caracterizada por ser del tipo predominante cloruro de sodio, de potasio y de calcio y posee además altas concentraciones de sílice, boro y arsénico; en condiciones atmosféricas tiene un pH ligeramente alcalino entre 7 y 7.5, el contenido de sólidos totales es de aproximadamente 22 gr/lt.

El contenido de dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno en el vapor, con respecto a los gases residuales  $H_2$ ,  $CH_4$  y  $N_2+Ar$ , oscila entre 92 y 99% en volumen.

Las características de producción de los pozos que alimentan la primera y segunda unidad geotérmica en condiciones normales de operación, se muestran en la Tabla 1.

Al considerar individualmente cada pozo, se pueden agrupar dependiendo de las características termodinámicas de la descarga, en pozos que descargan una mezcla agua-vapor que corresponde al flasheo de agua a partir de las condiciones de temperatura del reservorio a 230°C (Ah-1, Ah-5,

# TEMPERATURA Y PRESION AHUACHAPAN

FIG. No. 12

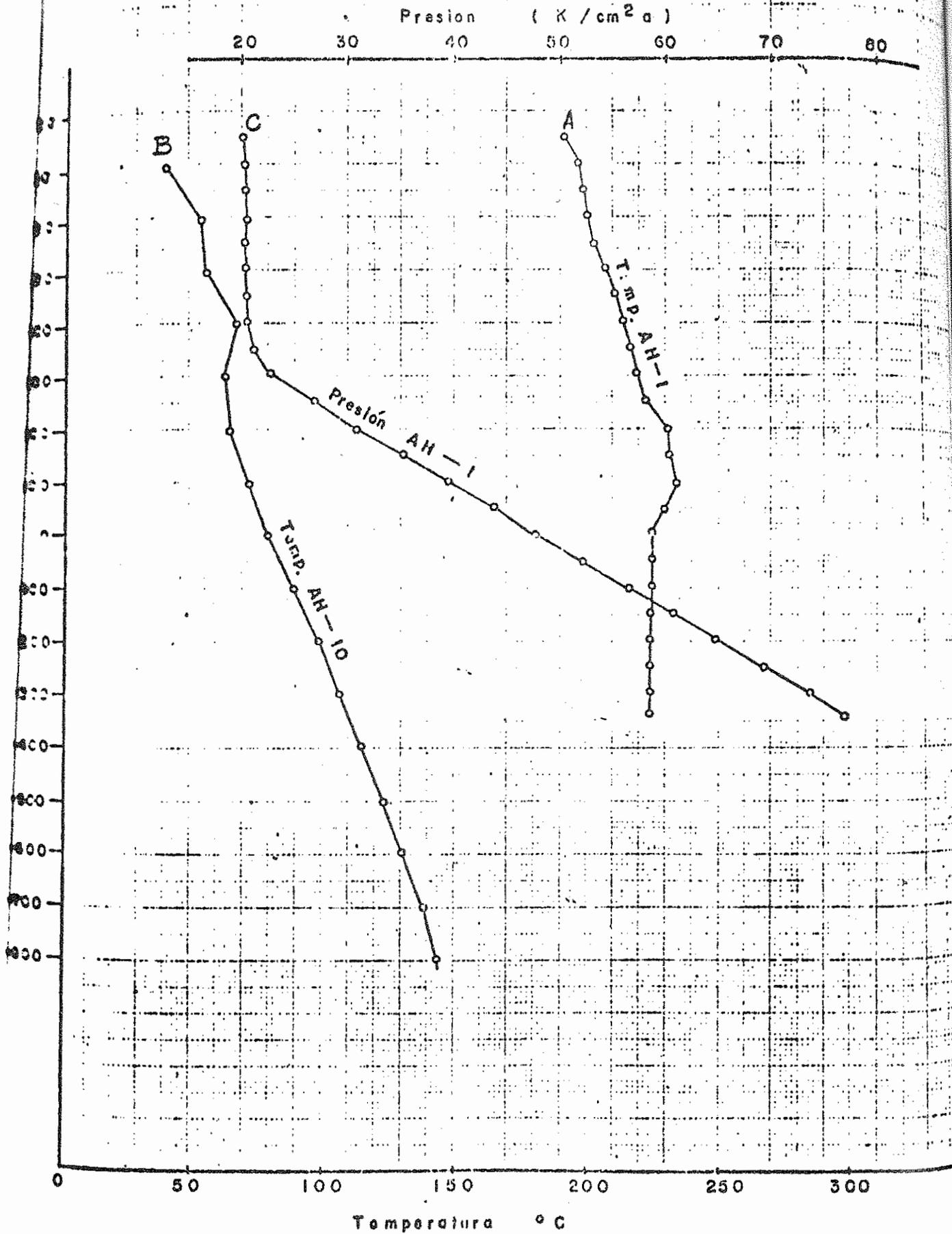


TABLA 1

CARACTERISTICAS DE OPERACION DE LOS POZOS DE LA 1a. Y 2a. UNIDAD

	UNIDAD	Ah-1	Ah-4	Ah-5	Ah-6	Ah-7	Ah-20	Ah-21	Ah-22	Ah-26
P.S. (*)	Kg/cm <sup>2</sup> g	5.69	5.76	5.70	5.69	5.27	4.99	4.99	4.99	5.27
Entalpia	Kcal/Kg	242	255	223	280	236	257	233	282	338
Caudal Total de Vapor	Kg/seg	87.48	138.48	61.87	71.16	57.36	54.94	92.35	64.48	26.89
Caudal Agua de Vapor	Kg/seg	73.47	113.20	54.26	54.36	48.61	44.05	79.24	48.48	17.27
Caudal Vapor	Kg/seg	14.01	25.28	7.61	16.80	8.75	10.89	13.11	16.00	9.62

NOTA: (\*) Presión de Separación

Ah-7, Ah-21) y pozos que en su descarga tienen exceso de vapor (Ah-4, Ah-6, Ah-20, Ah-22 y Ah-26). Este comportamiento de las descargas obedece a la situación de los pozos con respecto a la estructura del reservorio y al régimen de extracción-reinyección del campo.

La Figura 13 muestra la evolución típica de las descargas de un pozo por cada grupo. Los caudales están calculados a presión atmosférica.

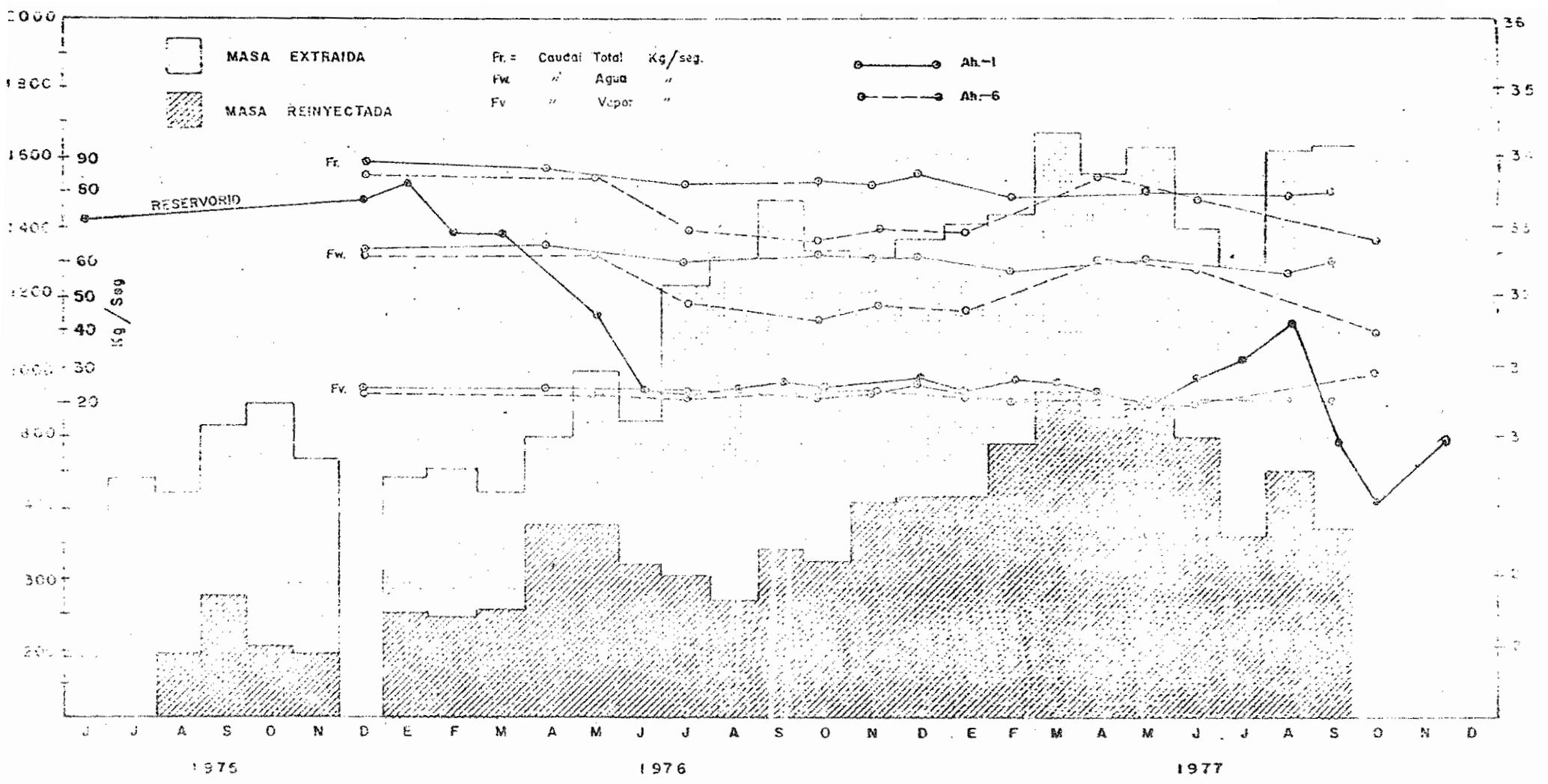
La disminución de la capacidad productiva de los pozos, está íntimamente ligada a la caída de presión en el reservorio, ya que manteniendo la presión de cabezal a un valor casi constante, la diferencia de presión entre el reservorio y la superficie es menor y por lo tanto el flujo másico disminuye. Otra razón del efecto de disminución de caudales es que la presión dentro del reservorio alcanza el punto de vaporización, descargando en el pozo una mezcla en dos fases que causa una disminución del flujo másico, debido al mayor volumen específico de la mezcla.

La Figura 14 muestra la evolución de las presiones en el reservorio a partir de 1971, y tiene como fondo las masas extraídas y reinyectadas. Se puede observar claramente que la presión en el reservorio se ha comportado siguiendo los requerimientos de la extracción y las compensaciones de la reinyección. En la etapa previa a la puesta en marcha de la primera unidad (junio 1975), la presión sufrió una disminución equivalente a  $2 \text{ Kg/cm}^2\text{g}$ , que corresponde a  $0.4 \text{ Kg/cm}^2\text{g/año}$ . En el período junio 1975 a junio 1977 la disminución fue de  $3.5 \text{ Kg/cm}^2\text{g}$  equivalente a  $1.75 \text{ Kg/cm}^2\text{g/año}$ , estos valores dan una idea de la respuesta del campo a la extracción.

- En el período de desarrollo del campo, la disminución de la presión fue lenta, a pesar de que en ese período (4 años), la extracción fue de  $20.3 \times 10^6 \text{ Ton}$ , mientras que en 2 años de extracción intensiva  $26.7 \times 10^6 \text{ Ton}$ , la disminución fue rápida. Esto confirma la existencia de una recarga natural y proporciona las indicaciones necesarias para determinar el sistema óptimo de extracción-reinyección.

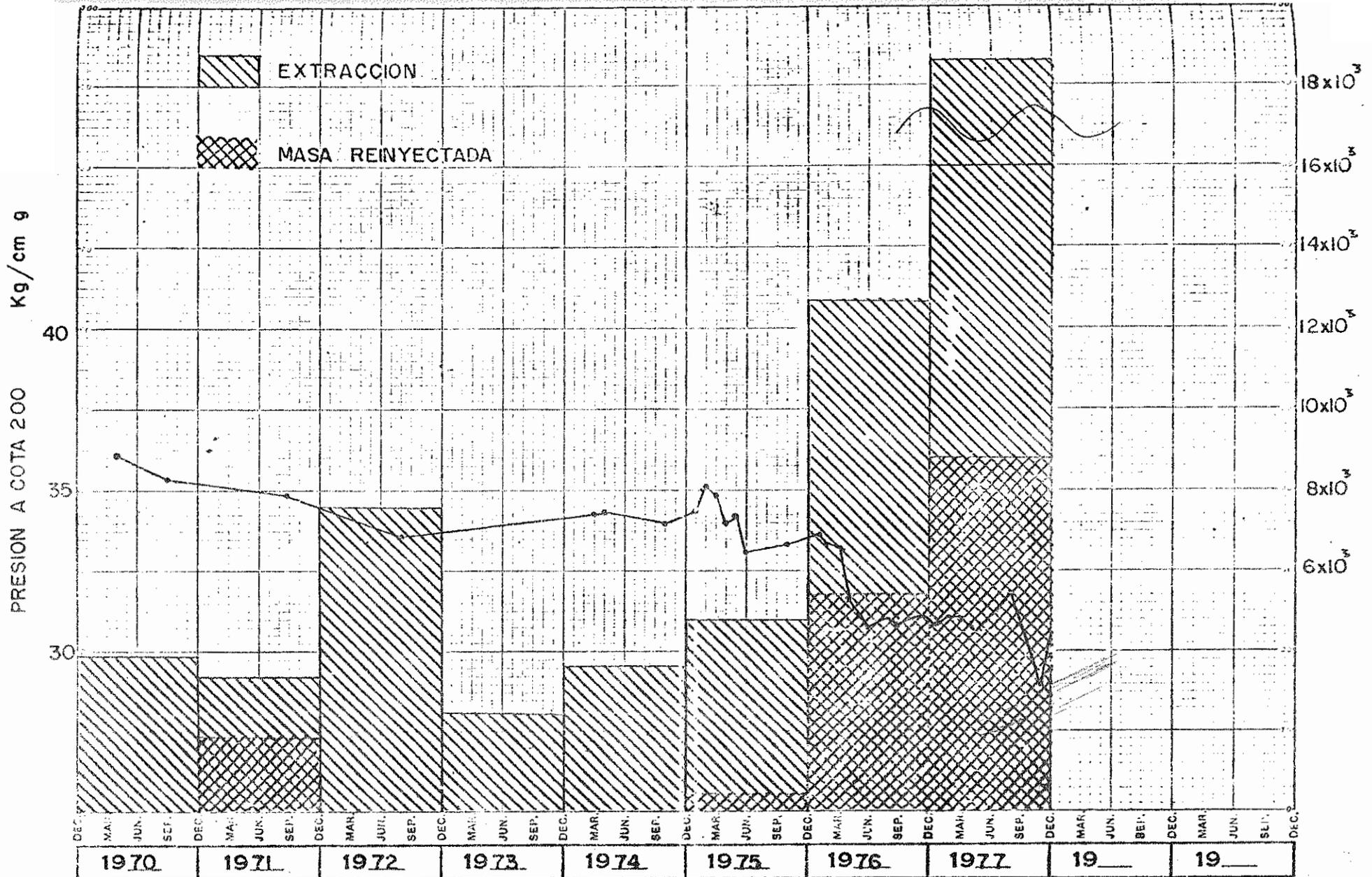
En el período de junio 1976 a junio 1977 la presión en el reservorio se mantuvo en un valor aproximadamente constante. Esto podría atribuirse a un efecto positivo de la reinyección en el mantenimiento de la presión.

FIG. N° 13



PRESION EN EL RESERVORIO VRS. TIEMPO

FIG. N° 14



En el período de junio 1975 a junio 1976 la disminución de la presión fue notoria y coincide con el inicio de la operación de la 1a. unidad, en julio de 1976 a pesar de la puesta en marcha de la 2a. unidad, las presiones se estabilizaron en un régimen de extracción-reinyección. Esta situación sugiere que la extracción estaba en equilibrio con la reinyección y la recarga natural al reservorio. En julio de 1977 se alteró el régimen estable disminuyendo la extracción, lo que originó una respuesta positiva en las presiones (incremento) y el siguiente mes ocurre el proceso inverso, se aumentó la extracción, disminuyendo la reinyección, siendo en este caso la respuesta de las presiones negativa (disminución). El cambio rápido de las presiones a cambios de extracción-reinyección sugiere que en el reservorio existe una gran transmisibilidad de fluidos.

La Figura 15-A construida a partir de las temperaturas máximas medidas en los pozos durante el mes de septiembre de 1977, muestra la distribución de las temperaturas en el reservorio. El mínimo de temperatura en la zona Ah-26 está en correspondencia con el alto estructural del reservorio y tiene su origen en la ebullición que ocurre en los estratos superiores del mismo. Los límites de la zona hidrotermal se encuentran bien definidos en dirección norte por los pozos Ah-11 y Ah-12 y hacia el oeste por el pozo Ah-15. En dirección sur y sur-este, el área parece extenderse considerablemente; según la información obtenida por nuevos pozos exploratorios perforados y en confirmación a indicadores geológicos; ampliándose el área de alta temperatura aproximadamente 8-10 Km<sup>2</sup>. Es de notar que los pozos ubicados en la dirección de la cadena volcánica o sea hacia el sur, muestran temperaturas mayores sugiriendo una alimentación primaria proveniente de esa dirección.

Para estudiar la evolución de las temperaturas en la fase de explotación, se han tomado como referencia la temperatura a cota 200 msnm para los pozos Ah-1 y Ah-6 (Figura 15-B), los cuales reflejan el comportamiento promedio de dos condiciones en el acuífero profundo.

El pozo Ah-6 intercepta la formación productora de un alto estructural, estando en este caso afectado por la formación de vapor en el reservorio. En la gráfica se puede determinar que la formación de vapor se inició a principio de 1976 ocasionando un descenso en la temperatura de los estratos superiores del acuífero, este efecto se localiza en los pozos similares al pozo Ah-6, después ocurre una

FIG. N° 15-A

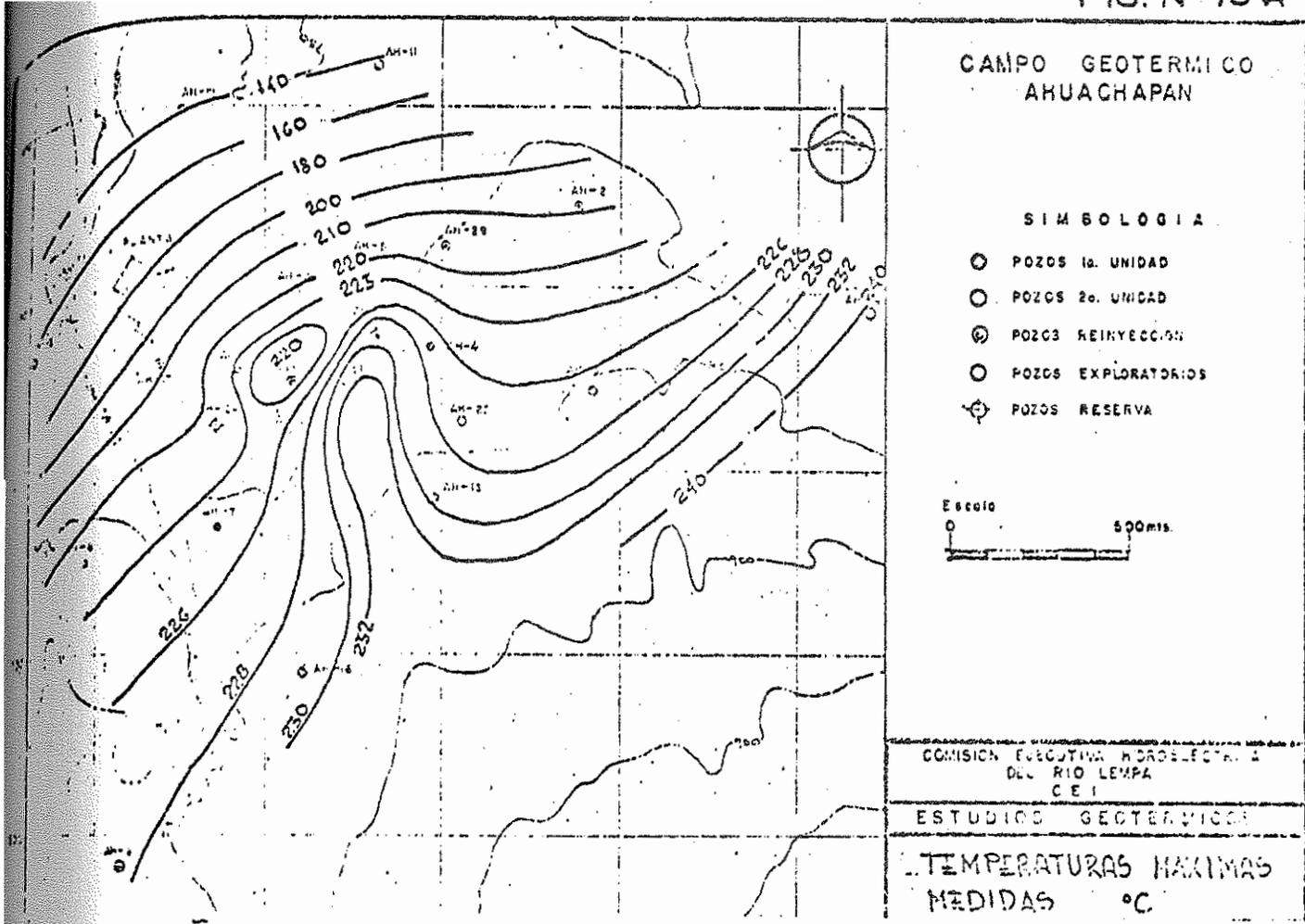
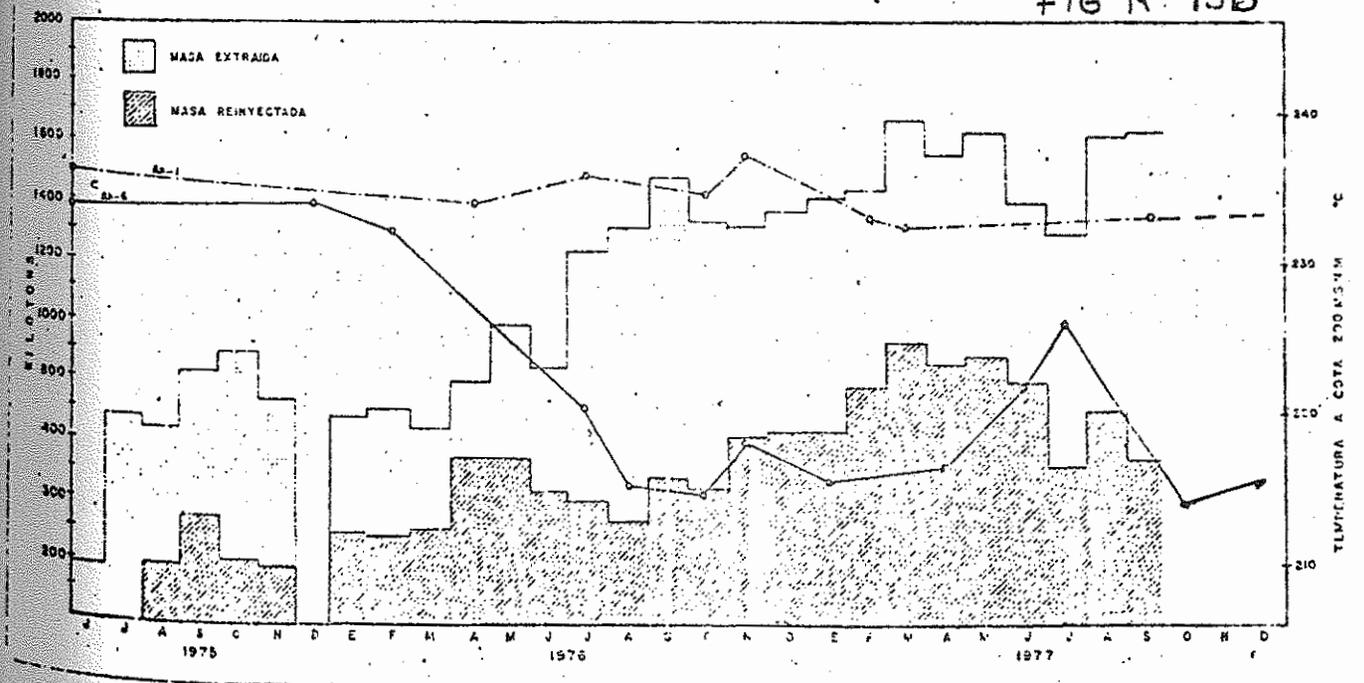


FIG N° 15B



estabilización hasta junio 1977 en que el cambio de régimen de extracción ocasiona un aumento en los niveles hidrostáticos, lo cual causa un incremento momentáneo en la temperatura.

El pozo Ah-1 se comporta en forma más estable, ya que está ubicado en una zona donde la formación productora forma un bajo estructural.

Si se estudian conjuntamente la evolución de las temperaturas con las presiones, se observa claramente la interdependencia que existe entre ellas.

#### 4.2 Estructura de Generación

La capacidad de energía eléctrica instalada en El Salvador es de 420 MW, de los cuales en plantas hidroeléctricas se tienen 232 MW (55.2%) y están instaladas sobre el Río Lempa, único río con probabilidades de aprovechamiento a gran escala. El otro recurso natural es el vapor subterráneo que alimenta la planta geotérmica de Ahuachapán con una capacidad de 60 MW (14.3%). Se estima que la demanda de potencia y energía eléctrica tenga para la próxima década, una tasa de incremento anual de 11%, es decir que se duplica cada 7 años.

La generación de la Central Geotérmica de Ahuachapán para el año 1977, fue de 32% de la generación total del sistema salvadoreño; que equivale a 32.800.000 galones de petróleo a un costo mayor de \$10.000.000. Esto representa un verdadero record mundial, como porcentaje de generación a base de recursos no convencionales de energía.

El costo de generación geotérmica estimado (al inicio de operación, 1975), fue de U.S.\$ 5.0 mills/Kwh, competitivo con el costo para la Central Hidroeléctrica de Cerrón Grande U.S.\$ 4.0 mills/Kwh y más ventajoso en comparación con la planta térmica convencional de Bunker C. U.S.\$ 24.0 mills/Kwh. El costo por Kw instalado geotérmico es de aproximadamente U.S.\$ 900.

RD-24

GUATEMALA

EXPLORACION GEOTERMICA EN GUATEMALA

/# EXPLOTACION  
/# GEOTERMIA  
/GUATEMALA  
/1972/

AUTOR:

Ing. Hugo Rolando Bethancourt  
Instituto Nacional de Electrificación  
(INE)

CONTENIDO:

RESUMEN

1. INTRODUCCION
2. GEOLOGIA GENERAL DE GUATEMALA
3. CATASTRO DE ZONAS GEOTERMICAS
4. AREA GEOTERMICA DE MOYUTA
5. CAMPO GEOTERMICO DE ZUNIL

## EXPLORACION GEOTERMICA EN GUATEMALA

### RESUMEN

De acuerdo con el programa e instructivo acerca del Simposio sobre Exploración Geotérmica auspiciado por la Organización Latinoamericana de Energía, OLADE, y copatrocinado por el Instituto Italo-Latino Americano, IILA, efectuado en la ciudad de Quito, Ecuador del 27 al 31 de marzo de 1978, Guatemala tiene la satisfacción de presentar el siguiente trabajo que contempla todas aquellas actividades desarrolladas en el campo de la exploración geotérmica. Estas actividades han sido realizadas en su totalidad por el Instituto Nacional de Electrificación (INDE), a través de su sección específica de Estudios Geotérmicos, que cuenta actualmente con el personal técnico especializado y la suficiente experiencia en cuanto a la exploración de este recurso natural.

Los recursos económicos para el desarrollo de estas actividades han sido proporcionadas por el gobierno central y canalizados a través del INDE. Se agradece la invitación que OLADE ha hecho a Guatemala, a través del INDE, para asistir a tan importante evento y se espera que este trabajo contribuya al desarrollo de la energía geotérmica en América Latina.

## 1. INTRODUCCION

Guatemala inició la exploración de sus recursos geotérmicos en el año de 1971, a través del P.N.U.D., quien realizó un muestreo geoquímico de todas las manifestaciones geotermiales que se localizan dentro de su territorio. Debido al corto tiempo disponible para estas actividades, este muestreo no se continuó. A partir de este muestreo, P.N.U.D. seleccionó tres áreas para realizar exploraciones detalladas: Moyuta, Zúnil y Amatitlán.

Posteriormente, en enero de 1973, llegó a Guatemala la primera Misión Geocientífica Japonesa como una cooperación del Gobierno del Japón, quienes principiaron a estudiar conjuntamente con INDE el campo geotérmico de Zúnil. A la vez efectuaron un reconocimiento de las áreas geotérmicas de Moyuta, Amatitlán, San Marcos e Ixpaco. En 1974 y 1976 vinieron la segunda y tercera Misiones del Gobierno del Japón para explorar directamente el área de Zúnil.

En base a las recomendaciones hechas por los técnicos japoneses, INDE inició, a finales de 1976, los trabajos detallados de exploración correspondientes a la primera fase.

En septiembre de 1975 llegó a Guatemala la primera misión de enfoque de la compañía consultora italiana ELECTROCONSULT, Etc., contratada por el INDE para realizar la exploración sistemática del campo geotérmico de Moyuta. La compañía consultora, después de haber analizado la información existente y haber realizado los estudios preliminares, recomendó continuar con la exploración del campo hasta llegar a la selección de sitios para realizar perforaciones exploratorias profundas.

La exploración del campo geotérmico de Moyuta ha sido descontinuada después de haber perforado dos pozos exploratorios, cuyos resultados fueron parcialmente negativos para los fines perseguidos. A principios del año de 1977, INDE inició la exploración sistematizada del área geotérmica de Amatitlán.

Los resultados y la experiencia obtenidos a través de estas actividades, se exponen en los capítulos correspondientes de este trabajo. Actualmente Estudios Geotérmicos del INDE continúa con la exploración de los campos geotérmicos de Zúnil y Amatitlán y el estudio regional de las áreas geotérmicas del país.

## 2. GEOLOGIA GENERAL DE GUATEMALA

Tectónicamente el territorio de Guatemala, como el resto de Centro América, se encuentra emplazada en el extremo oeste de la placa del Caribe, acunada hacia el norte con la placa norteamericana y hacia el sur con la placa oceánica de Cocos; esta última se mueve hacia el norte metiéndose bajo la placa del Caribe. Precisamente el catastrófico terremoto que sucedió en Guatemala el 4 de febrero de 1976, se debió a un movimiento tectónico entre la placa norteamericana y la placa del Caribe, activando la falla Motagua que junto y paralelo a la falla Polochic cruzan el territorio de noreste a suroeste, ligeramente arqueadas hacia el sur (Figura 1).

La subducción de la placa oceánica de Cocos contra la placa del Caribe genera, en profundidad, grandes temperaturas y presiones que están genéticamente relacionadas con la actividad volcánica Cuatemaria que se ha desarrollado paralela a la costa del Pacífico, a lo largo de todo el territorio Centroamericano.

Regionalmente el territorio de Guatemala se ha dividido de norte a sur, en cuatro Provincias fisiográficas (Figura 2).

### 2.1 Tierras Bajas de Petén

Consisten principalmente de un fuerte espesor de rocas sedimentarias Cretácicas y Terciarias. Las formaciones Cretácicas están compuestas, en gran parte, de rocas calcáreas con cambios de facies evaporíticas, que sobrepasan los 3.000 m de espesor; depositados sobre Formaciones Jurásicas, y en parte afectadas por una tectónica salina. Las Formaciones Terciarias, que sobrepasan los 1.000 m de espesor, están compuestas principalmente de sedimentos calcáreos, depósitos evaporíticos, sedimentos continentales y conglomerados. Superficialmente, esta Provincia presenta Karst y pequeños montículos cubiertos, en gran parte, de una espesa selva, con altura promedio de 100 m sobre el nivel del mar, con clima de tipo tropical.

### 2.2 Cordillera Central de Guatemala

Esta Provincia está compuesta por un sistema de montañas que atravieza Guatemala de oeste a este, formando un arco convexo hacia el sur. Dentro de estas Sierras se encuentra

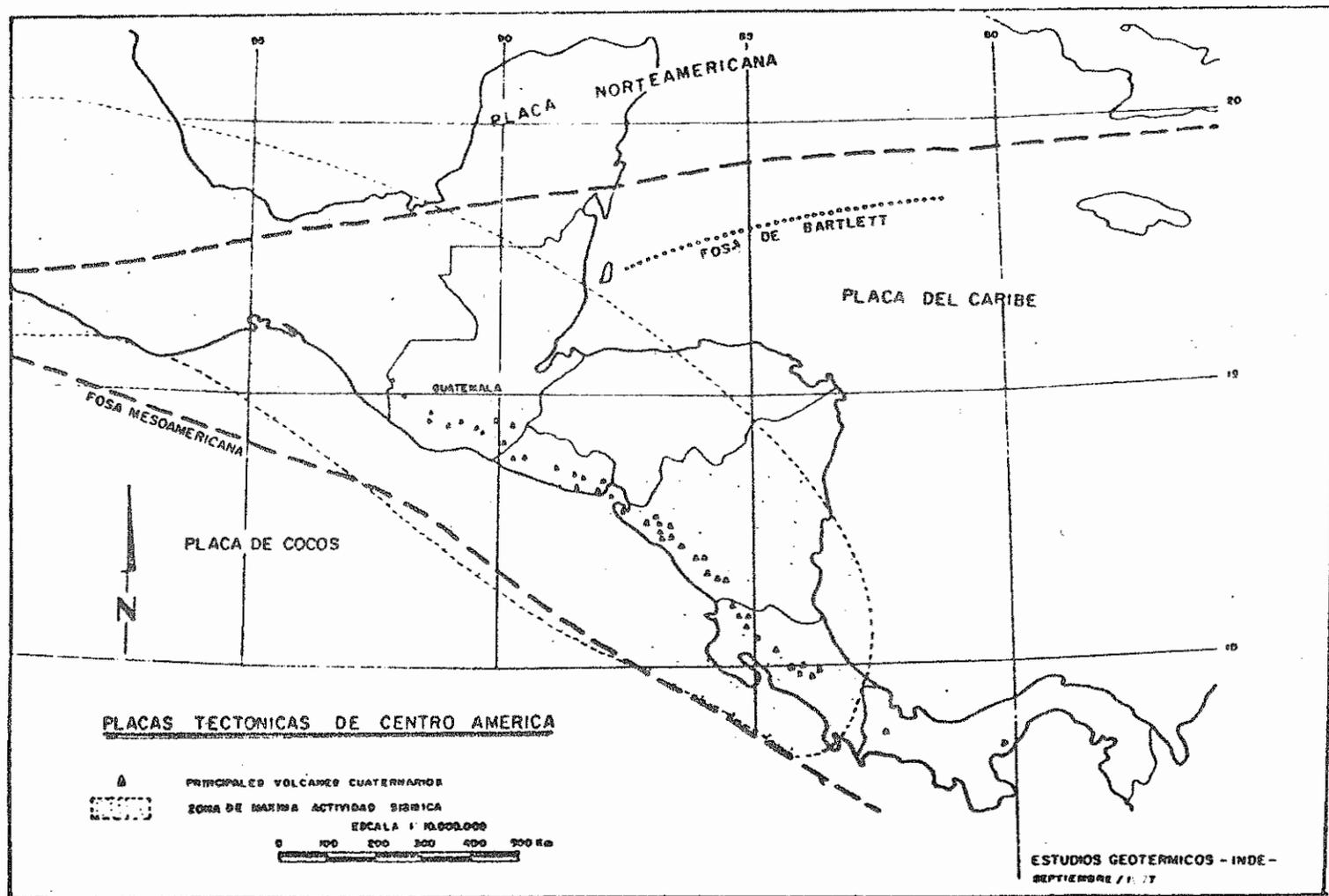


FIGURA 1

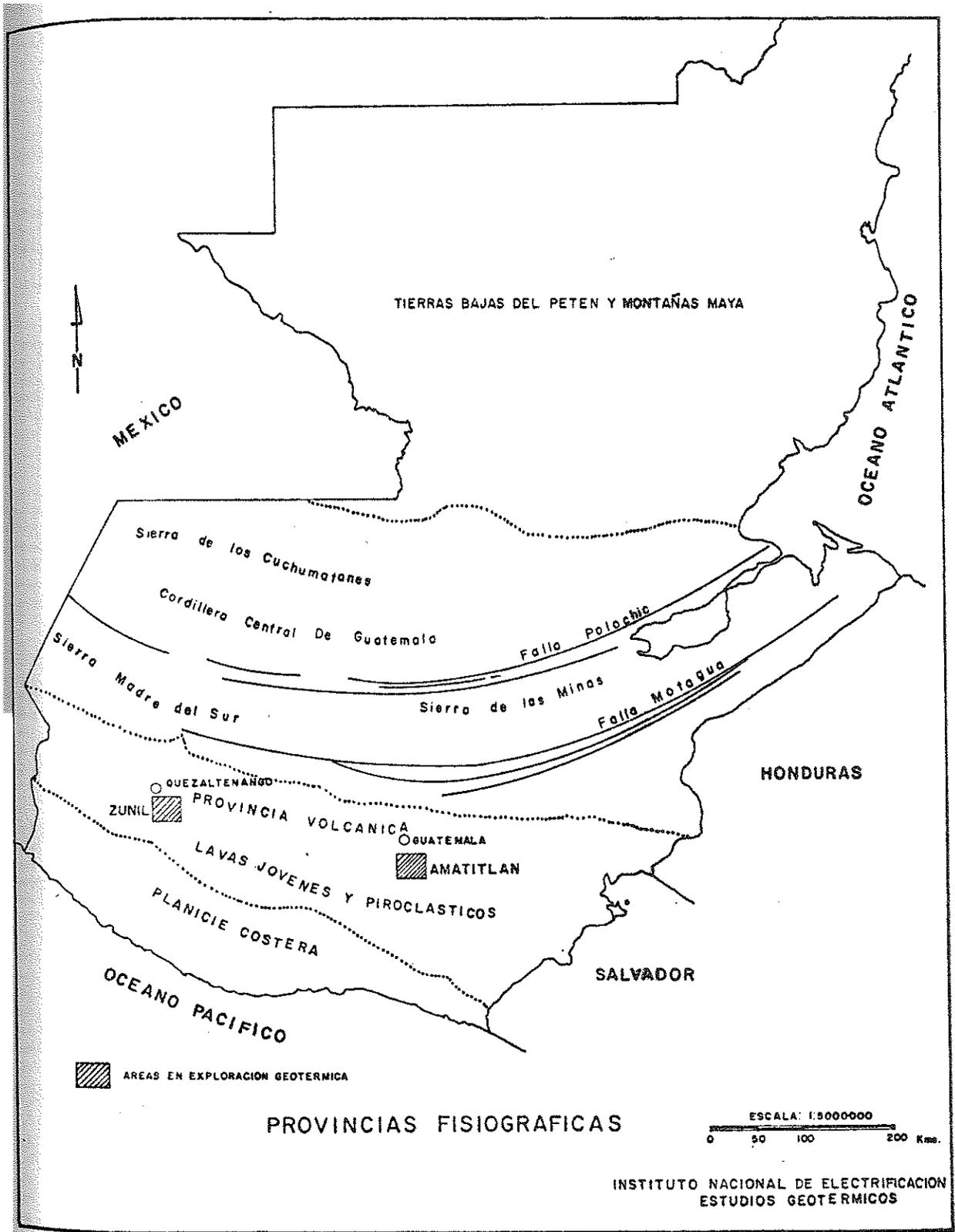


FIGURA 2

los Chuchumatanes, que sobrepasa los 3.200 m de altura. La sección basal de esta Cordillera está compuesta de un complejo de rocas cristalino-metamórficas de edad Paleozoica-Mesozoica. Sobre este complejo se depositó una gruesa secuencia de sedimentos continentales (lechos rojos) de edad Jurásica-Cretácica, seguida de sedimentos principalmente calcáreos fuertemente plegados, de edad Cretácica.

Las grandes fallas de Polochic y Motagua se encuentran dentro de esta Provincia, las que están asociadas a las rocas ultrabásicas que afloran extensamente en esta zona.

### 2.3 Provincia Volcánica

Esta Provincia se extiende desde el sureste de México hasta Costa Rica, atravesando Guatemala, El Salvador y Nicaragua, paralelas a la costa del Océano Pacífico.

En Guatemala, las montañas que caracterizan esta Provincia se encuentran fuertemente erosionadas, dejando descubierto, en algunas áreas, rocas cristalinas de naturaleza granítica, que forman, en una buena parte, el basamento de esta zona.

La actividad volcánica Terciaria se caracteriza, en Guatemala, por haber salido gran cantidad de material lávico y piroclástico a través de fracturas en un ambiente continental.

La actividad volcánica concentrada o emisión por un foco central se inició en el Terciario Tardío hasta el presente, habiendo dado lugar a la formación de grandes conos volcánicos, algunos superiores a los 4.200 m, como el Volcán Tajumulco. Actualmente se encuentran en actividad volcánica, constante o periódicamente, los Volcanes Pacaya, Fuego y Santiaguito (Domo del Volcán Santa María).

Es precisamente en esta Provincia donde se localizan las máximas manifestaciones geotermales de Guatemala; dentro de éstas, las impresionantes áreas de Zunil y Amatitlán, actualmente en exploración.

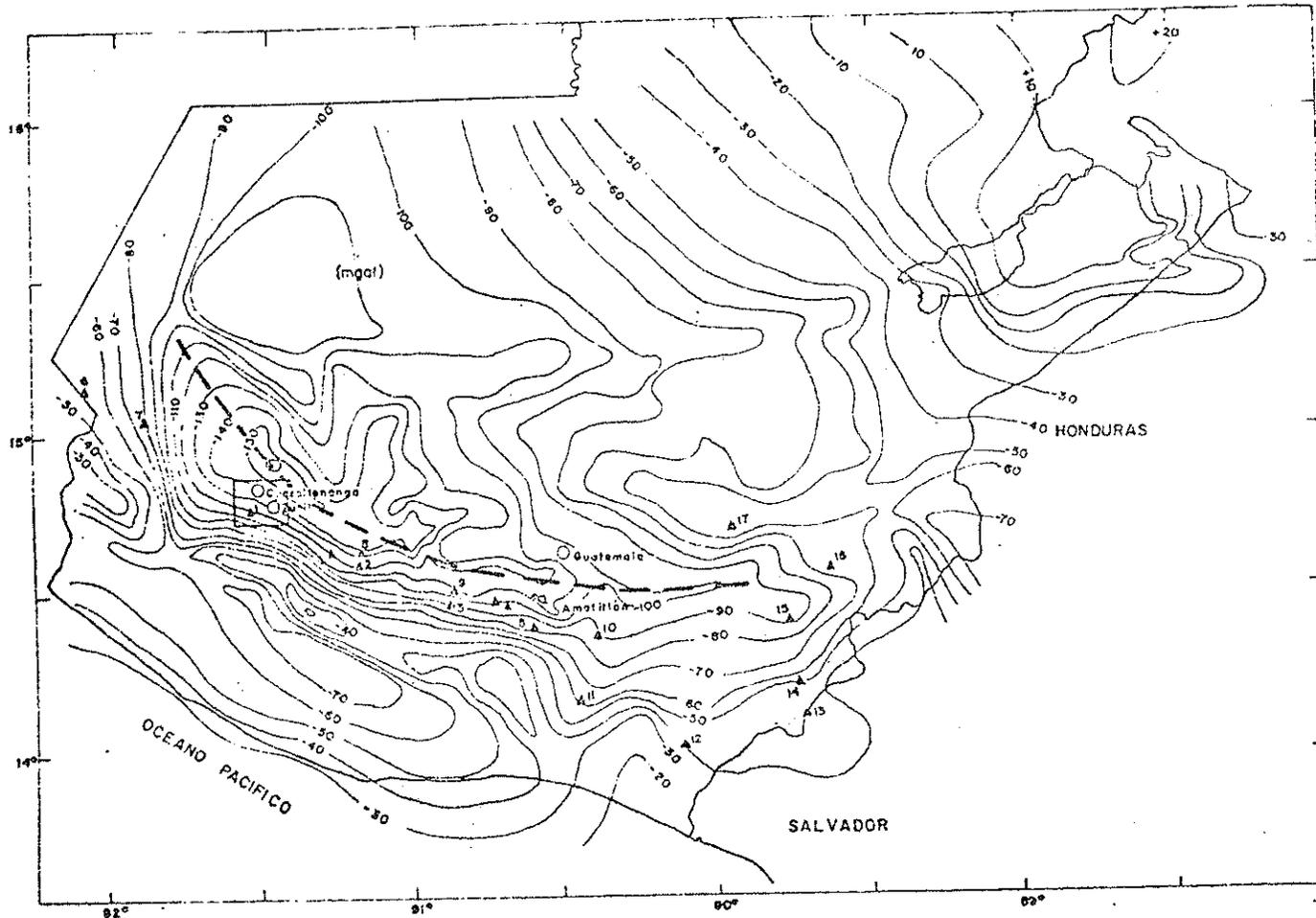
### 2.4 Planicie Costera del Pacífico

Esta Provincia es una franja de aproximadamente 50 Km de

ancho que se localiza entre el litoral del Pacífico y la Provincia Volcánica. Su altura varía de 0 hasta 200 m en un clima de tipo tropical húmedo. Está formada principalmente de una gran cantidad de detritus volcánico, provenientes de la Provincia Volcánica así como depósitos de material piroclástico y un fuerte desarrollo de abanicos aluviales. La erosión ocasionada por los ríos ha dejado descubierto, en algunos sitios, el complejo de rocas Terciarias.

Depresión Guatemala-Quetzaltenango: Se ha llamado así al hundimiento del basamento Pre-Terciario que se ha localizado entre Guatemala y Quetzaltenango. Sigue la misma orientación regional NW-SE; de las depresiones o grabens que han sido confirmados en El Salvador y Nicaragua. Tales estructuras forman el llamado "Graben Centroamericano"; de tal manera, que el graben Guatemala-Quetzaltenango puede considerarse como una continuación del Graben Centroamericano. Esta depresión se manifiesta gravimétricamente (Ver Figura 3), con un mínimo entre 100 y 150 mgal, con una longitud aproximada de 300 Km de largo por 10 Km de ancho, la cual se desarrolla paralela a la Fosa Mesoamericana que se localiza más o menos a 100 Km de la costa del Pacífico con profundidades superiores a los 5.000 m.

Las grandes fracturas longitudinales de tensión que generaron esta depresión, permitieron la subida de magma subcostral, iniciándose así, la actividad volcánica Terciaria-Cuaternaria.



**VOLCANES CUATERNARIOS**

- 1 V. Santa María (3772)
- 2 V. Atitlán (3537)
- 3 V. Fuego (3763)
- 4 V. Agua (3780)
- 5 V. Pacaya (2552)
- 6 V. Tacaná
- 7 V. Tacaná
- 8 V. Telimán (3158)
- 9 V. Acaltenango (3976)
- 10 C. Redondo (1077)
- 11 V. Tecumburro (1345)
- 12 V. Moyuta (1702)
- 13 V. Chingo (1775)
- 14 C. Las Viboras (935)
- 15 V. Suchitlán (2006)
- 16 V. Ipala (1650)
- 17 V. Jumay (2160)

(3772) = Altura en mts. sobre el nivel del mar

0 5 10 20 30 40 50 Km

**LEYENDA**

- Anomalia de Bouguer (mgal)
- Eje Estructural de la Depresión Tectónica Guatemala-Quetzaltenango.
- Area de estudio

INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACION

ESTUDIOS GEOTERMICOS DE ZUNIL

RELACION ENTRE LA ANOMALIA DE BOUGUER

Y EL  
RASAMIENTO PRE-TERCIARIO DE GUATEMALA

Fecha: SEPTIEMBRE/1977

Dibujó:  
R DEL CID M.

Cumplió:  
ING E TOBIAS

VoBo: ING H R  
SETHANCOURT

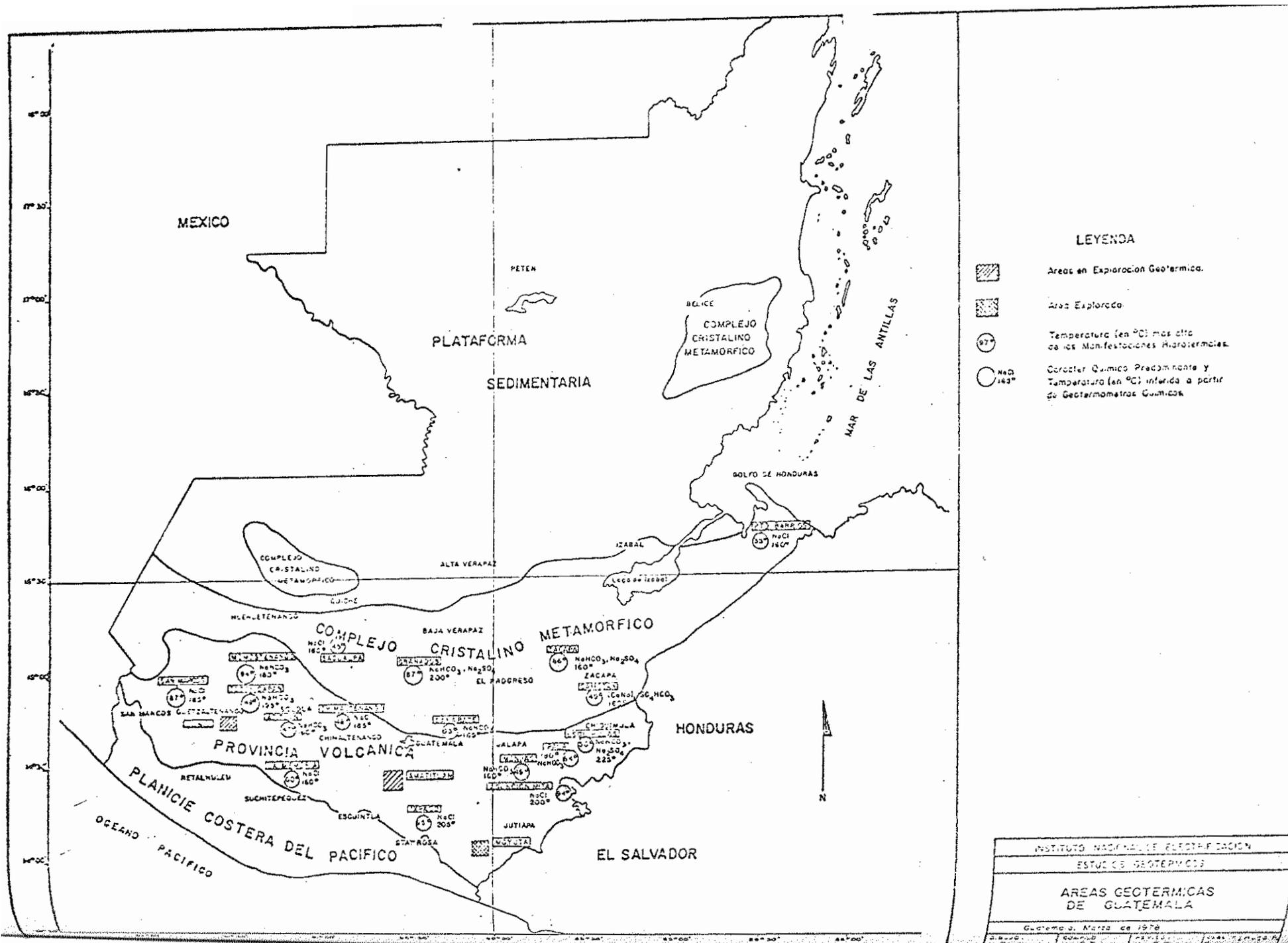
### 3. CATASTRO DE ZONAS GEOTERMICAS

En base a las investigaciones realizadas por INDE tendientes a la evaluación de los recursos geotérmicos de Guatemala, se han seleccionado más de 20 áreas para realizar exploraciones preliminares con el objeto de establecer la prioridad de cada área para su exploración detallada.

Se ha tomado principalmente en cuenta el ambiente geológico en que éstas se encuentran, sus parámetros geoquímicos, así como el impacto económico sobre el desarrollo de la región.

Preliminarmente se han seleccionado las áreas siguientes: (Figura 4).

- 1) Tajumulco-Tacaná
- 2) San Marcos
- 3) Zunil
- 4) La Memoria
- 5) Totonicapán
- 6) Momostenango
- 7) Quiché
- 8) Sacapulas-Zacualpa
- 9) Atitlán
- 10) Chimaltenango
- 11) Amatitlán
- 12) Ixpaco
- 13) Sanarate
- 14) Ayarza
- 15) Moyuta
- 16) Monjas
- 17) Ipala
- 18) Zacapa
- 19) Camotán
- 20) Granados
- 21) Esquipulas
- 22) Asunción Mita
- 23) Polochic



#### 4. AREA GEOTERMICA DE MOYUTA

El área geotérmica de Moyuta se localiza aproximadamente 80 Km al este de la ciudad de Guatemala, a escasos 35 Km del Campo Geotérmico de Ahuachapán en El Salvador, en la vertiente norte de la pequeña cordillera volcánica que se desarrolla en sentido este-nor-este-oestesuroeste, entre la planicie costera del Pacífico y la frontera con El Salvador.

Su altura (snm) varía de 600 m en el Valle de Jalpatagua a 1.660 m de la cima del Volcán Moyuta.

##### 4.1 Geología

El área geotérmica de Moyuta (Figura 5) está emplazada en una depresión tecto-volcánica de características regionales con rumbo NO-SE, considerada como la porción occidental del "Graben Centroamericano", cuya máxima manifestación se encuentra en El Salvador y Nicaragua.

En el área investigada se reconocieron cinco complejos geológicos regionales, caracterizados por diferentes secuencias estratigráficas y rasgos estructurales.

Al norte de la falla de Jalpatagua, una falla normal con rumbo NO-SE y con un salto de falla superior a los 500 m, se halla La Mesa de San José Acatempa, la cual es un bloque rígido estructuralmente elevado sobre un basamento calcáreo de edad Cretácica, que ha sufrido intrusiones de cuerpos granodioríticos de probable edad Cretácica Superior-Eocénica.

Al sur de La Mesa de San José Acatempa, se encuentra el Graben de Jalpatagua. Este es una depresión estructural de edad Mioceno-Plioceno, que muestra estar todavía activa. El basamento relativo de este Graben está constituido por aglomerados volcánicos del Complejo Los Achiotes-Pasaco y flujos andesíticos. Durante el Plioceno, se depositaron sobre el basamento sedimentos detríticos fluvio lacustre seguidos de sedimentos lacustres arcilloso-diatómicos.

El Complejo Volcánico de Moyuta, ubicado a lo largo del margen sur del Graben de Jalpatagua, se encuentra separado de éste por un sistema de fallas de rumbo E-O que originan la posición estructural de este complejo. Su basamento relativo es el mismo del Graben de Jalpatagua. A lo

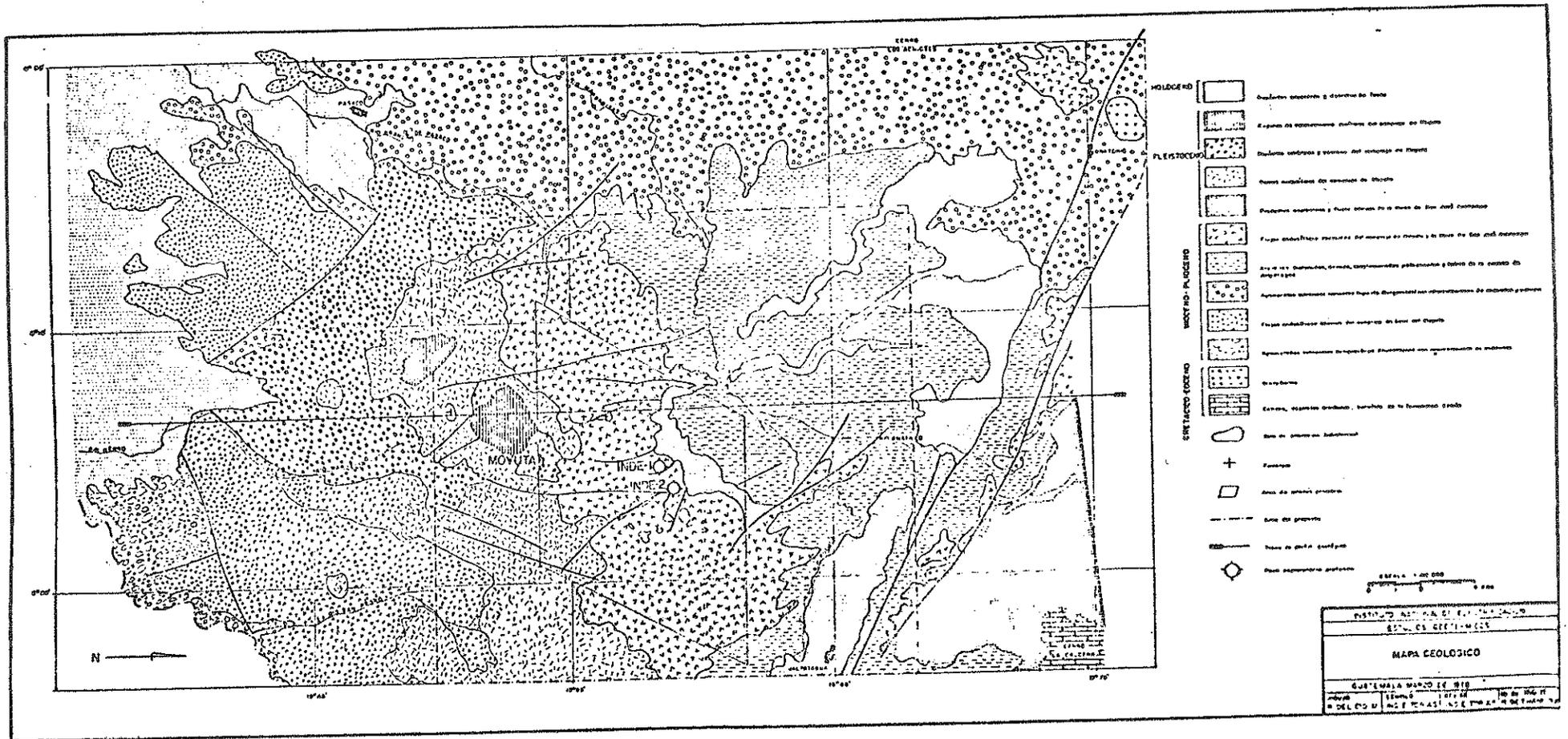


FIGURA 5

largo de su margen sur se depositaron sedimentos lacustres de la depresión de Jalpatagua, los cuales fueron cubiertos en el Plioceno-Superior por flujos andesíticos. Este Complejo constituye el conjunto volcánico Cuaternario más importante del área estudiada; localizándose en su flanco norte las manifestaciones geotermales más importantes.

Es un complejo Volcánico poligenético y mixto con una larga evolución volcánica que se inició a fines del Pleistoceno. Se trata del alineamiento de domos andesítico con fases finales dacíticas, algunos de los cuales están fuera de la alineación principal. Los domos del sector oeste presentan manifestaciones de actividad explosiva con la formación de profundos cráteres.

El Complejo Volcánico Los Achiotes-Pasaco, se localiza a lo largo del borde oeste del área estudiada. Lo constituye un conjunto de edificios volcánicos alineados en dirección N-S, fuertemente erosionados, de composición andesítica y de edad probablemente Miocénica. La formación de estos volcanes estuvo acompañada por una gran cantidad de auto-brechas y por fenómenos extensos de transporte, que causaron la acumulación de imponentes masas aglomeráticas a los pies de este complejo. Por último, cabe mencionar, el Graben del Río Paz, que constituye una superficie tectónicamente hundida entre el flanco suroeste del Complejo de Moyuta y el extremo oeste de la falla de Jalpatagua. El Graben está delimitado por fallas de rumbo N-S y representa un elemento tectónico transversal con respecto a la depresión regional Moyuta-Ahuachapán.

#### 4.2 Geoquímica

El área de manifestaciones geotermales se encuentra asociada a un vulcanismo de naturaleza Dómica de edad Cuaternaria en la cual no emergen en superficie aguas termales de características profundas, excepto en el caso de los manantiales salinos del Río San Pedro que se encuentran localizados al sureste del área investigada que afloran de la formación andesítica Terciaria en lo profundo del cañón del río.

Por la salinidad encontrada se puede inferir temperaturas alrededor de 180°C basada en los geotermómetros Na-K-Ca y SiO<sub>2</sub>.

En el área explorada directamente, las temperaturas inferidas a partir del análisis de gases, es superior a 200°C por el alto contenido de hidrógeno.

Debido a la inexistencia de manantiales salinos no fue posible obtener conclusiones geoquímicas confiables que permitiera inferir la existencia de un reservorio geotérmico.

Las Tablas 1, 1A y 2, muestran la composición de los manantiales y gases.

#### 4.3 Geofísica

Los métodos de prospección geofísica empleados en el área geotérmica de Moyuta fueron el geoelectrico y gravimétrico.

##### 4.3.1 Geoelectrica

Las investigaciones geoelectricas en Moyuta cubrieron un área de aproximadamente 160 Km<sup>2</sup> e incluyeron la ejecución de 116 sondeos eléctricos verticales con dispositivo Schlumberger y 70 Km de perfiles por el método Dipolo-Dipolo.

Los sondeos eléctricos proporcionan la siguiente información:

- a) En la mayoría de los sondeos la secuencia consta de una capa resistiva superficial de espesor muy variable; de una segunda capa conductiva con una resistividad de menos de 10 ohm-m, con un espesor de 500 a 1.000 m y de una tercera capa resistiva considerada como sustrato resistivo del área (Ver perfiles Figura 6).
- b) La Conductancia Longitudinal; es el parámetro que define las características geoelectricas del área. La estructura Azulco-Las Lomas corresponde a un mínimo de conductancia, el cual está rodeado por tres anomalías de alta conductancia longitudinal; la más intensa y extensa de las anomalías está

TABLA 1

CONCENTRACION DE GASES EN EL VAPOR FUMAROLICO DE  
MOYUTA

(milimoles/100 moles)

AREA FUMAROLICA	CO <sub>2</sub>	SH <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> /SH <sub>2</sub>
Guinea	2 125.0	14.96	142
Guinea	1 900.0	15.33	124
Azulco	20.17	0.62	32.5
Azulco	86.5	0.69	125.5
Marcuccy	373.6	3.53	105.7
P. Mariano	13 810.0	33.10	418.0

TABLA 1-A

COMPOSICION DE LOS GASES EN EL VAPOR DE MOYUTA

(Volumen %)

AREA FUMAROLICA	CO <sub>2</sub> + SH <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> +Ar (Re siduales)
Guinea	97.8	0.5	1.70
Guinea	98.0	0.6	1.40
Azulco	91.7	0.60	7.70
Azulco (*)	92.8	0.66	6.54
Marcuccy (*)	97.8	0.2	2.0
P. Mariano (*)	96.3	0.74	2.96
P. Mariano	97.0	0.43	2.57

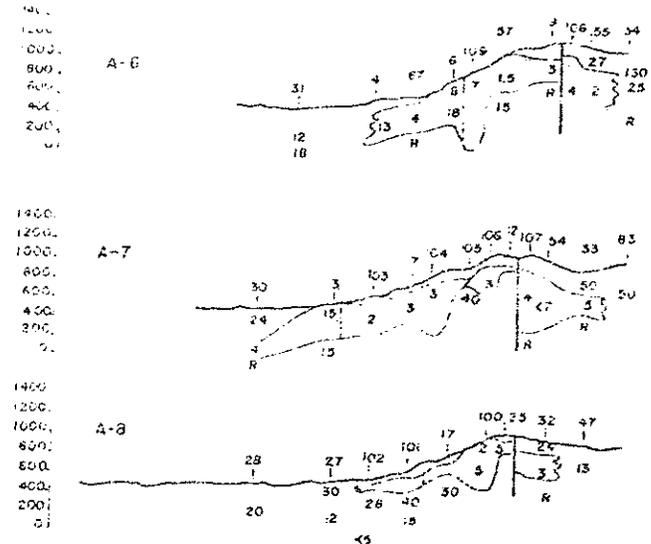
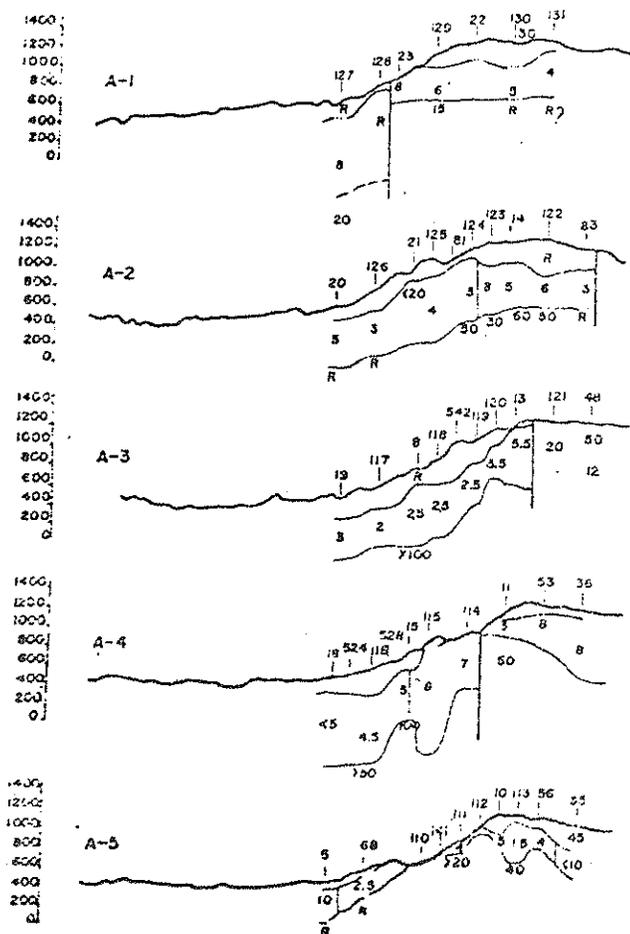
NOTA (\*): Muestras corregidas por contaminación atmosférica.

**TABLA 2**

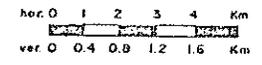
CONTENIDO QUIMICO DE MUESTRAS DE AGUA DE MANANTIALES CALIENTES DE MOYUTA

MUESTRA	Na ppm	K ppm	SiO <sub>2</sub> ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cl ppm	SO <sub>4</sub> ppm	HCO <sub>3</sub> ppm	B ppm	pH	T°C
HS-116	12.50	2.00	5.70	67.50	2.60	6.38	3.00	240.95	0.30	7.0	41.5
HS-117	9.50	2.50	4.20	82.50	2.48	6.74	5.00	272.67	1.30	6.5	35
HS-118	11.00	1.40	3.00	70.10	1.03	6.56	12.00	237.90	1.60	6.5	31
HS-119	16.00	4.10	6.00	36.00	3.44	7.45	3.00	155.82	1.45	6.0	30
HS-120	13.20	2.00	5.00	69.00	3.50	7.09	4.00	250.10	1.30	6.5	34
HS-120A	5.00	0.90	7.00	88.00	4.10	6.38	4.00	286.70	1.60	6.0	40
HS-121	4.00	2.10	7.00	30.00	8.51	8.51	10.00	121.80	0.90	6.5	29
HS-122	30.00	3.55	6.50	23.00	3.40	7.80	5.00	173.20	0.80	6.0	32
HS-123	24.00	4.00	5.00	57.50	5.30	7.10	3.00	260.70	0.75	6.0	36
HS-124	30.00	3.40	8.00	33.39	8.28	6.70	43.00	164.70	0.80	6.0	35
P- 8	12.00	5.00	7.00	67.50	2.80	12.77	3.00	234.24	0.00	6.0	> 29
P- 9	11.00	1.60	9.00	62.00	9.80	9.93	2.00	207.40	0.15	6.0	> 29
P- 10	8.50	3.25	15.00	51.28	12.40	8.51	1.00	231.80	0.10	6.0	> 29

NOTA: No se encontraron trazas de CO<sub>3</sub>.



55 SONDEO ELECTRICO VERTICAL  
 S RESISTIVIDAD EN ohm.m  
 | PROBABLE LINEA DE DISLOCACION  
 - LIMITE ENTRE DIFERENTES RESISTIVIDADES  
 HORIZONTE CONDUCTIVOS : 3-10 ohm.m



INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACION  
 ESTUDIOS GEOTERMICOS DE MOYUTA  
 SECCIONES ELECTROESTRATIGRAFICAS

FIGURA 6

situada al oeste de Las Lomas y los dos restantes al NO y SE de Azulco (Figura 7).

- c) Dos líneas de discontinuidad lateral con rumbo NO-SE delimitan un bloque levantado al oeste de Azulco que coincide con una anomalía positiva que correlaciona con una estructura dómica dentro del área (Figura 8)(\*).

Como resultado de la interpretación geoelectrica se formularon dos diferentes hipótesis:

- I La capa conductiva en su sección inferior, podía corresponder a las andesitas, basales fracturadas que representarían el acuífero geotérmico, asumiéndose que las áreas de máxima conductividad correspondían a zonas de máxima permeabilidad y alta temperatura de los fluidos. La zona profunda de alta resistividad correspondía al basamento profundo y correlacionado con aglomerados basales análogos a los aglomerados antiguos de Ahuachapán de poca permeabilidad.
- II El espesor conductivo podría estar relacionado también con una intensa alteración hidrotermal o meteórica, además de que podía corresponder también con arcillas lacustres de baja resistividad.

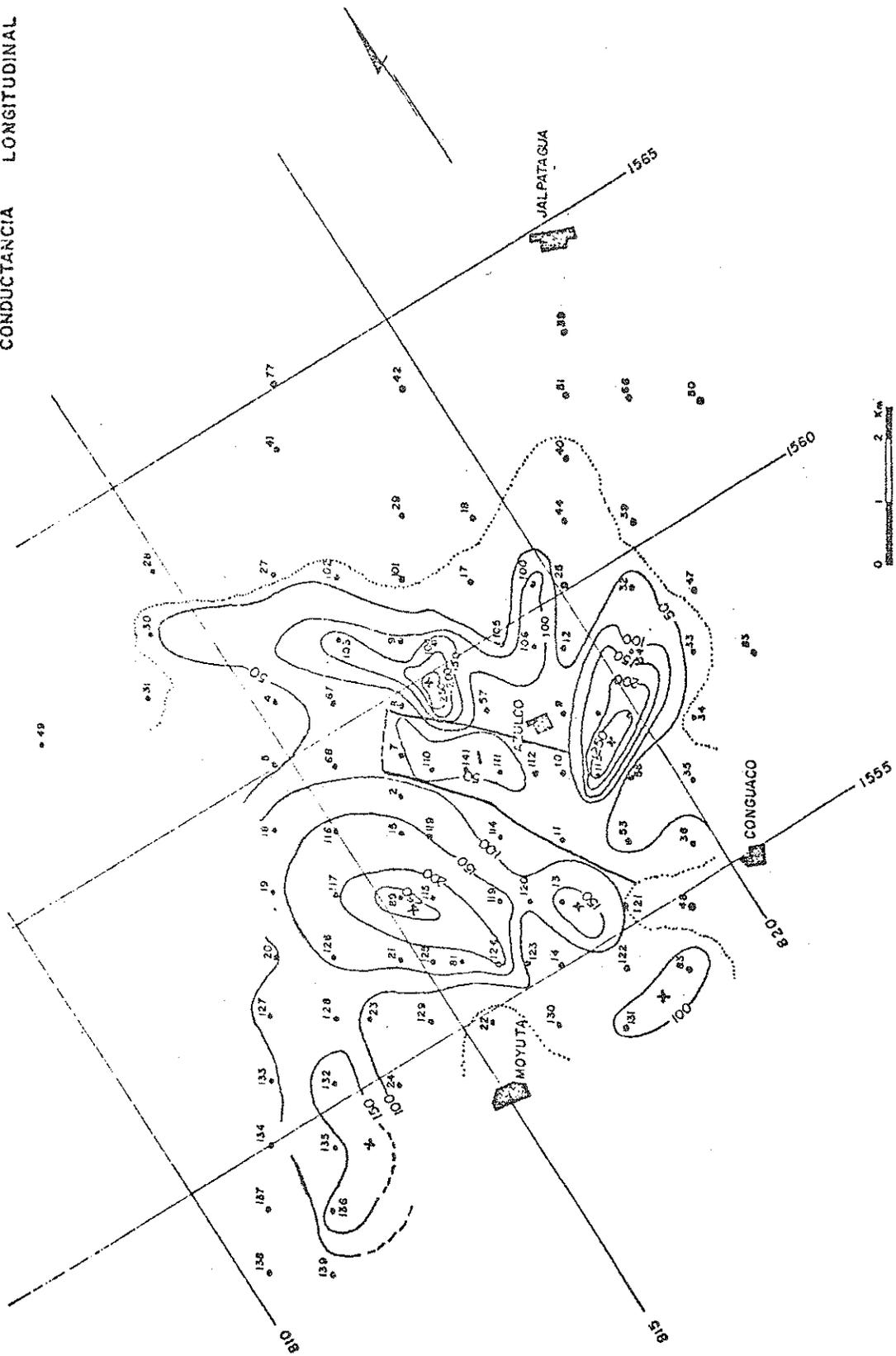
El pozo INDE-1 perforado en la anomalía más extensa situada al oeste de Las Lomas, comprobó que los altos valores de conductancia en esta zona corresponden con un espesor de rocas alteradas hidrotermalmente.

El método Dipolo-Dipolo fue ejecutado a lo largo de los perfiles donde se efectuaron los S.E.V., el cual confirmó las discontinuidades laterales reveladas por los S.E.V. además de confirmar la estructura Azulco-Las Lomas, definida por una zona de alta resistividad

---

NOTA (\*): No se encuentra incluida en el original del trabajo.

INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACION  
ESTUDIOS GEOTERMICOS DE MOYUTA  
CONDUCTANCIA LONGITUDINAL



#### 4.3.2 Gravimetría

La prospección gravimétrica se efectuó sobre una superficie de aproximadamente 200 Km<sup>2</sup>, con una densidad de 4 estaciones por Km<sup>2</sup>.

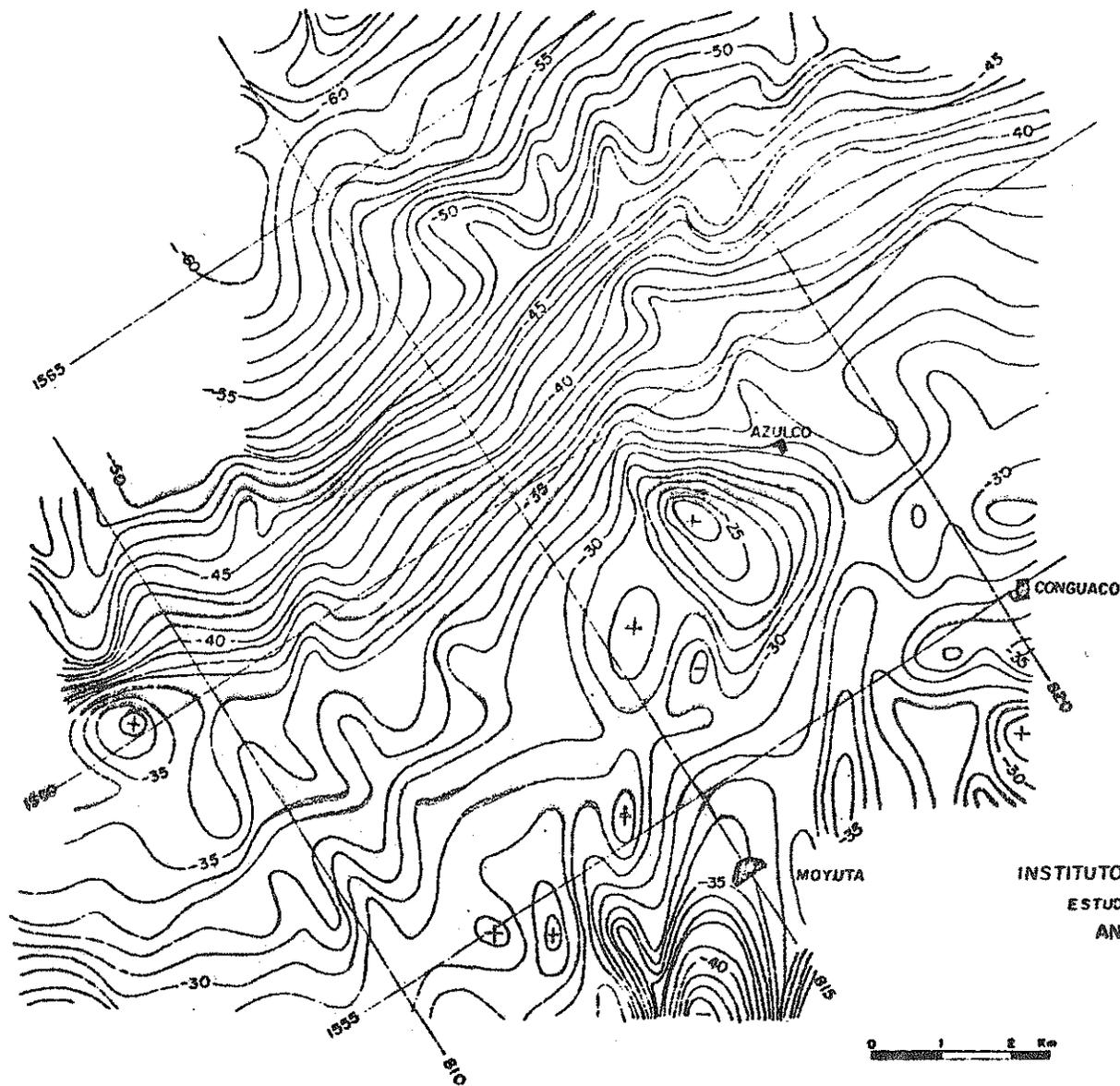
El mapa de anomalía Bouguer (Figura 9), muestra un decrecimiento constante de los valores de densidad hacia el NNO, es decir hacia la falla de Jalpatagua. El mapa muestra dos anomalías positivas: la primera se extiende por más de 20 Km entre Azulco y la finca La Cañada; la segunda es muy acentuada y está ubicada al oeste de Azulco.

Para cuantificar estructuralmente los datos gravimétricos se calcularon los mapas de anomalía regional y residual locales.

El mapa de anomalía regional (Figura 10) muestra claramente que el basamento andesítico baja hacia el NNO, por efecto de un buzamiento constante y de una serie de fallas que producen una estructura en escalón. En el mismo mapa se puede observar un alto estructural que corresponde a la parte septentrional de Horst de Moyuta (Figura 9).

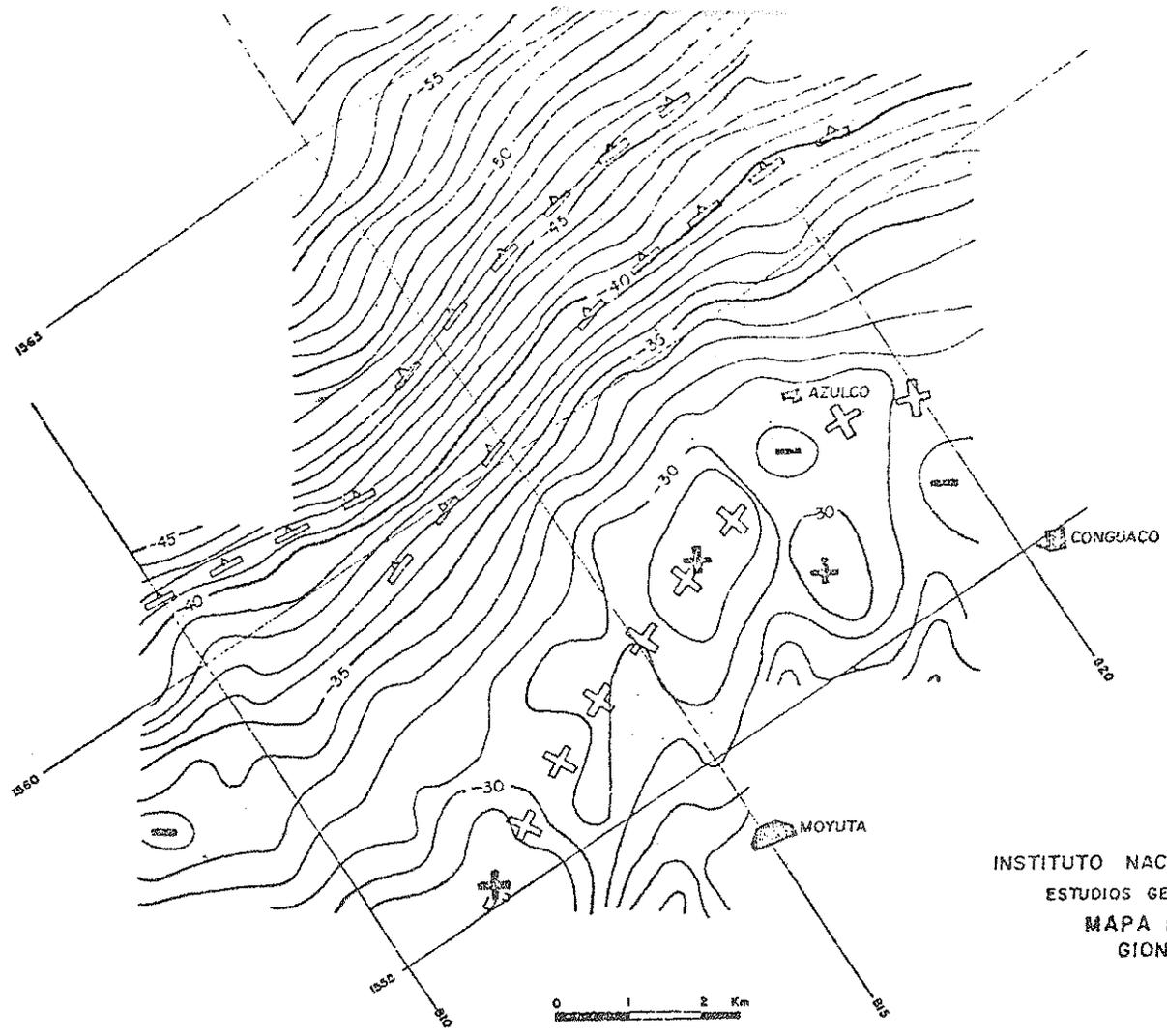
El mapa de anomalía residual (Figura 11) presenta numerosas anomalías positivas y negativas. La más evidente es la anomalía positiva ubicada entre Azulco y Las Lomas, observada también en el mapa de anomalía de Bouguer. Esta anomalía fue interpretada inicialmente como un levantamiento local del basamento andesítico a lo largo de tres fallas con rumbo NO-SE, N-S y OSO-ENE, las cuales delimitan la estructura; sin embargo, posteriormente con observaciones de campo se determinó que al máximo gravimétrico correspondía con el domo andesítico (Cerro Caliente). El alto gravimétrico está rodeado de anomalías negativas.

Con el fin de obtener una imagen del comportamiento estructural del área en profundidad, se ejecutaron cuatro perfiles gravimétricos (Figura 12). La interpretación sacada de los perfiles proporciona información sobre profundidad y estructura



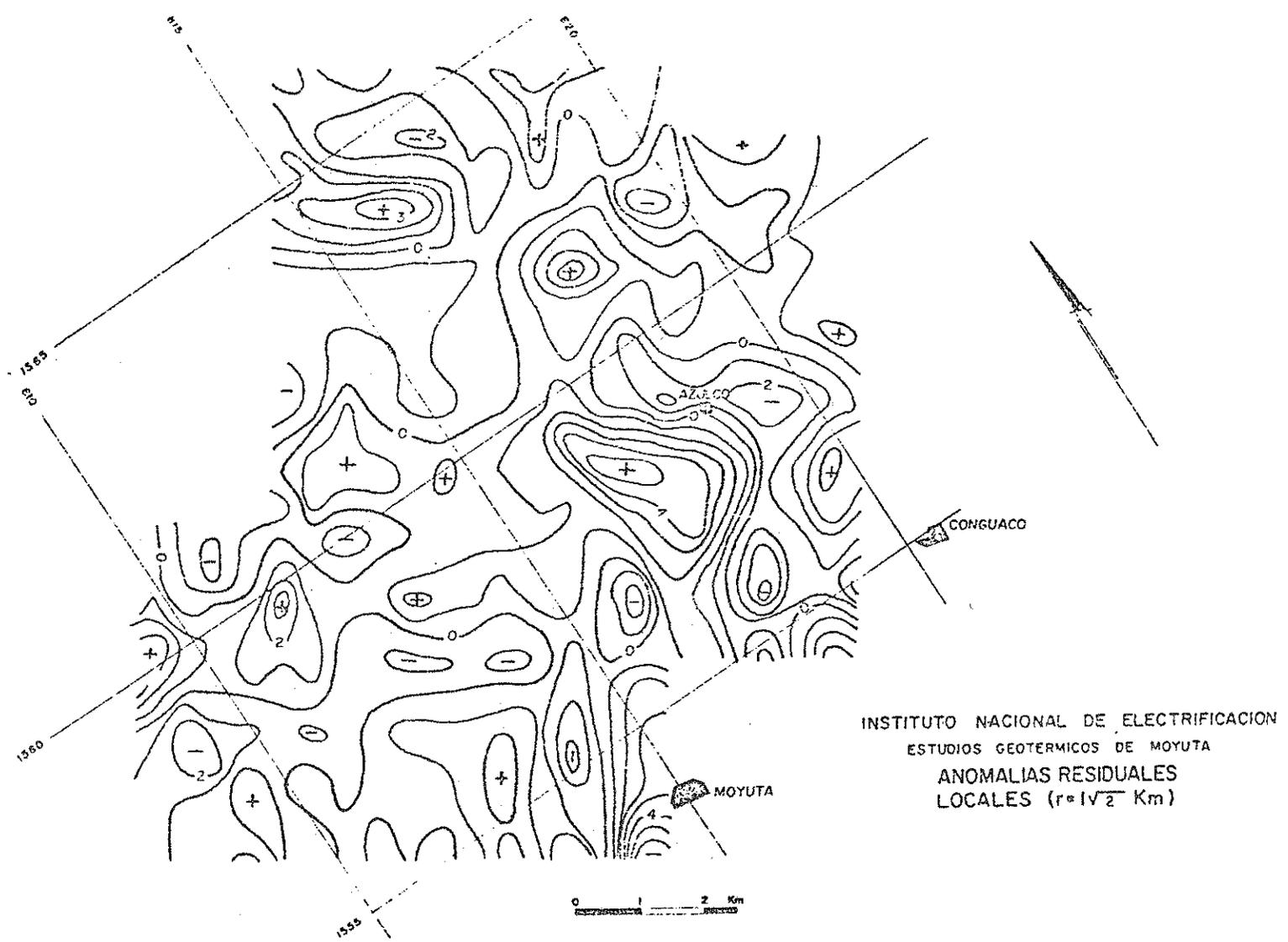
INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACION  
 ESTUDIOS GEOTERMICOS DE MOYUTA  
 ANOMALIAS DE BOUGUER  
 (DENSIDAD 2.67)

FIGURA 9



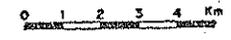
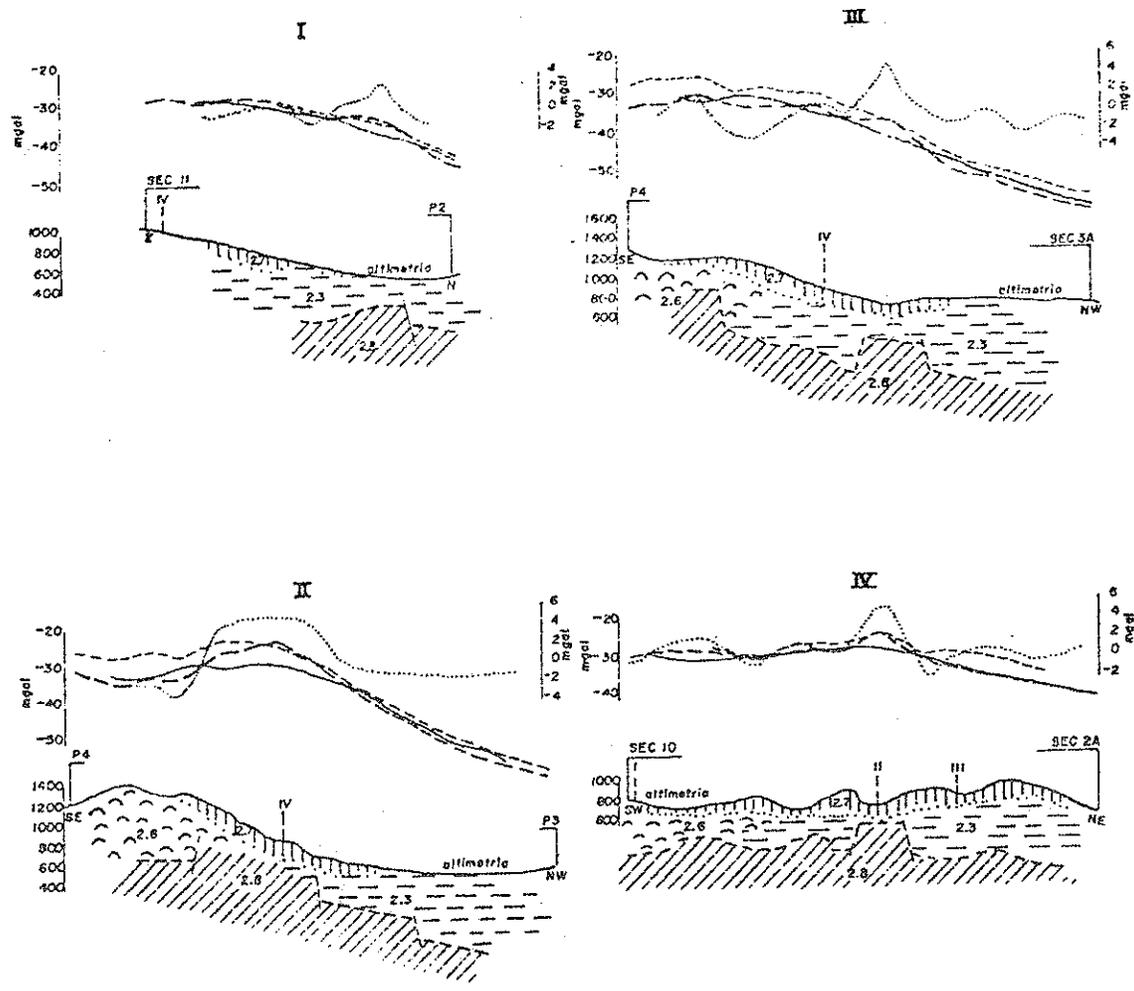
INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACION  
 ESTUDIOS GEOTERMICOS DE MOYUTA  
 MAPA ESTRUCTURAL RE-  
 GIONAL (Interpretado)

FIGURA 10



INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACION  
 ESTUDIOS GEOTERMICOS DE MOYUTA  
 ANOMALIAS RESIDUALES  
 LOCALES ( $r = 1\sqrt{2}$  Km)

FIGURA 11



$\delta = 2.3$  - - - - - BOUGUER  
 $\delta = 2.67$  - - - - - REGIONALES  
 $\delta = 2.67$  - - - - - RESIDUALES

INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACION  
 ESTUDIOS GEOTERMICOS DE MOYUTA  
 SECCIONES GRAVIMETRICAS  
 INTERPRETADAS

FIGURA 12

de las distintas formaciones, pudiéndose confirmar el hundimiento progresivo del basamento hacia el NNO (Figura 12) y la presencia del levantamiento de Moyuta y la ocurrencia de rasgos tectónicos.

#### 4.4 Conclusiones

Las anomalías de baja resistividad ( $< 10$  ohm-m) fueron identificadas como posibles acuíferos geotérmicos.

Estas anomalías pusieron en evidencia capas conductivas entre 300 y 600 m de espesor a partir de 200 y 300 m de profundidad, que eran localizadas a ambos lados de la zona de máxima emergencia de fluidos termales.

Los pozos de gradiente determinaron una anomalía de  $10 \text{ Km}^2$  con un gradiente térmico de aproximadamente  $2.5^\circ\text{C}/10 \text{ m}$ , correlacionando con las anomalías geoeléctricas.

Con base en esto, se tomó la decisión de explorar el área de Moyuta investigando las capas de baja resistividad eléctrica, escogiéndose la anomalía más extensa y de mayor espesor conductivo situado en el lado oeste de Las Lomas para realizar la primera perforación profunda.

El pozo exploratorio INDE-1 reveló que dicha anomalía es el resultado de alteración de la roca de origen hidrotermal antiguo y de origen meteórico. El pozo exploratorio INDE-2 fue ubicado en la zona de máxima actividad hidrotermal superficial con el objeto de obtener información del sistema profundo de alimentación. La perforación interceptó los fluidos ascendentes a la profundidad de 200 m, debajo de la cual no fueron encontrados otros conductos termales. La temperatura de los fluidos interceptados a 200 m fue de  $113^\circ\text{C}$ , descontinuándose la perforación a 1.000 m de profundidad donde la temperatura fue de  $100^\circ\text{C}$ .

El pozo INDE-2 no proporcionó indicaciones sobre el acuífero profundo de alimentación, al respecto del cual se pudo formular la siguiente hipótesis. Geológicamente podría estar situado en el techo de rocas sedimentarias cretácicas cuya profundidad ha sido estimada en el área de Moyuta entre 1.500 y 2.000 m.

Las gráficas del pozo INDE-1 e INDE-2 muestran en detalle los resultados de temperatura y litología encontrados en esta zona, así como la terminación de los mismos (Figuras 13 y 14).

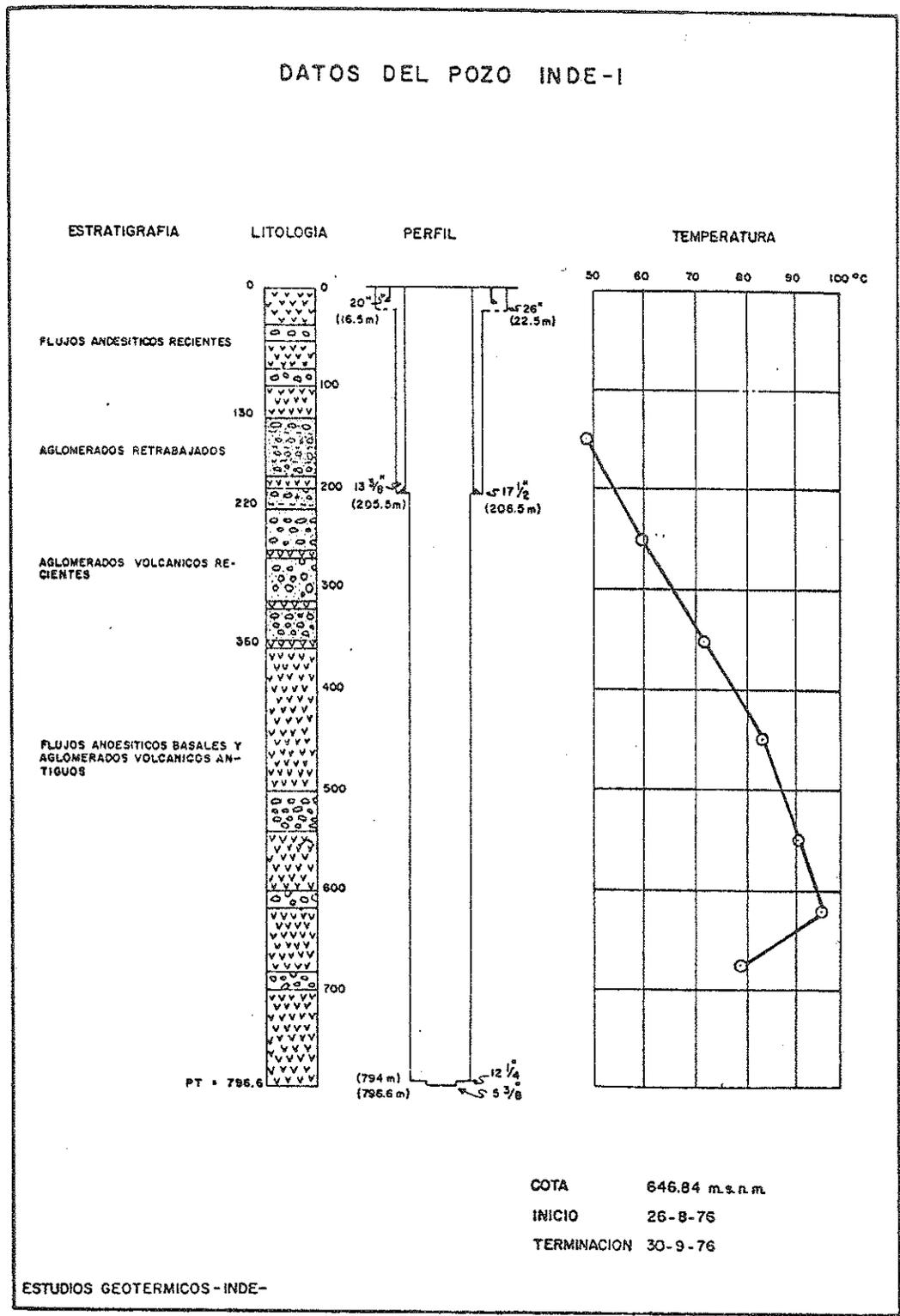


FIGURA 13

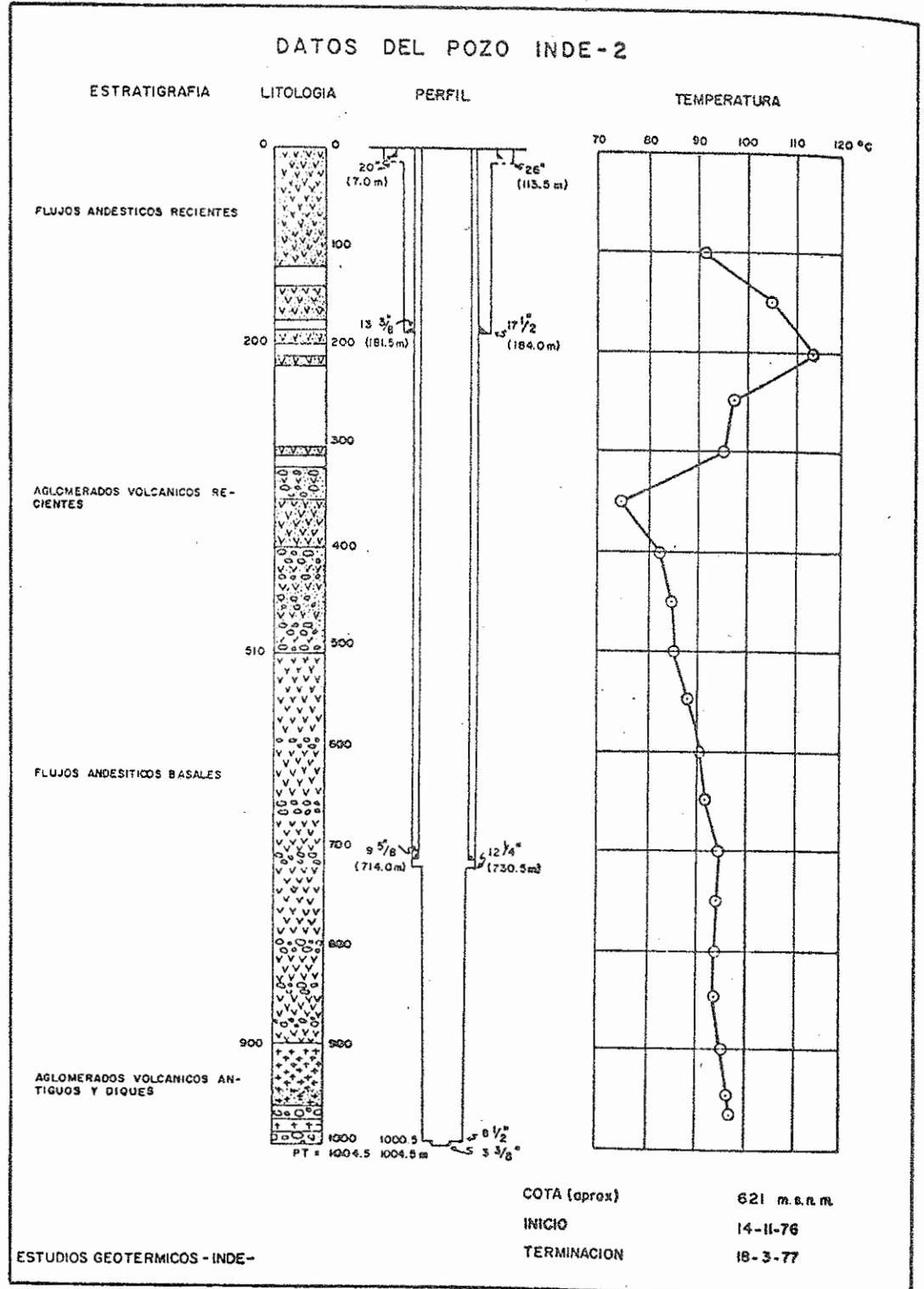


FIGURA 14

## 5. CAMPO GEOTERMICO DE ZUNIL

El campo geotérmico de Zunil se localiza a 200 Km de la ciudad de Guatemala y a 7 Km al sur de Quetzaltenango, en el extremo oeste de la Provincia Volcánica de Guatemala, en una de las zonas de máxima actividad. Las manifestaciones geotermiales principales se localizan el pie del flanco sureste del enorme domo Cerro Quemado.

### 5.1 Geología

La investigación geológica regional (Figura 15), dedujo 3 importantes Complejos Volcánicos geomorfoestructurales: Complejo Volcánico Cuaternario. Indudablemente, por su relación con las manifestaciones geotermiales, es el más importante del área estudiada. Está constituido principalmente por los edificios volcánicos: Chicabal (2.712 m), Siete Orejas (2.910 m), Santa María (3.772 m), Santiaguito (2.500 m) y Cerro Quemado (3.197 m), siguiendo la alineación regional de la Cadena Volcánica NW-SE.

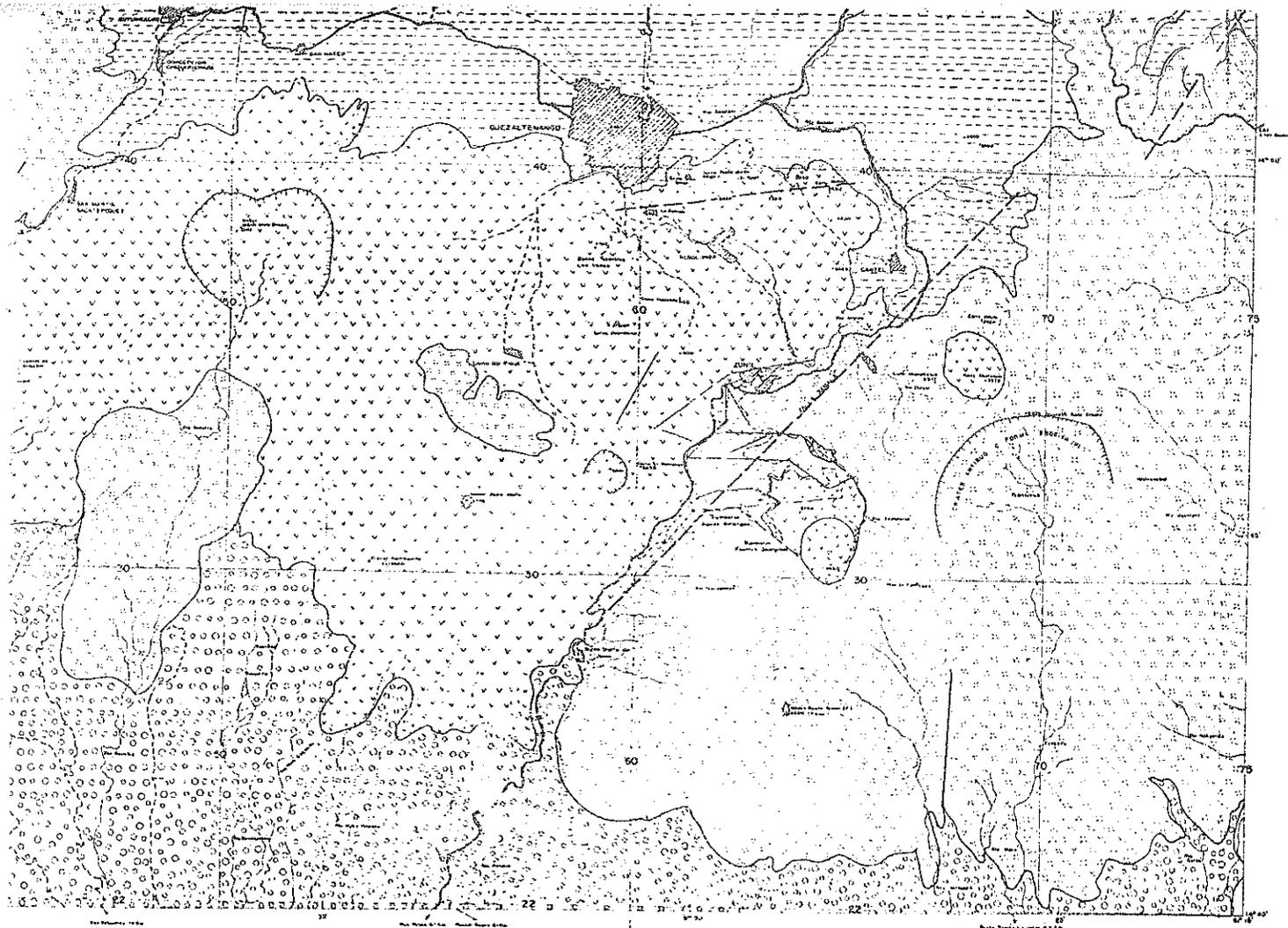
Estructuralmente está emplazado en el extremo oeste de la depresión gravimétrica del basamento Pre-Terciario Guatemala-Quetzaltenango, levantándose sobre el Complejo de Rocas Terciarias. Dentro del Complejo Dómico del Cerro Quemado, se encuentran un conjunto de cúpulas dómicas que se formaron a partir de una fractura con orientación aproximada E-W. Esta serie de pequeños domos de naturaleza riodacítica representan una de las últimas fases de la actividad volcánica en la región.

El Complejo Volcánico Cuaternario es casi en su totalidad de composición andesítica.

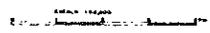
Valle de Quetzaltenango. Esta es una depresión tectovolcánica alargada en sentido E-O, limitada hacia el norte por la falla de Olintepeque y hacia el sur por el Complejo Volcánico Cuaternario, rellena posteriormente por una gruesa capa de pómez eólica, arena y ceniza volcánica, así como material pumicítico retrabajado.

Complejo de Rocas Terciarias. Este Complejo encierra prácticamente al Complejo Volcánico Cuaternario, el cual se encuentra sobre un basamento cristalino de naturaleza granodiorítica. Su espesor es sumamente irregular; en algunos

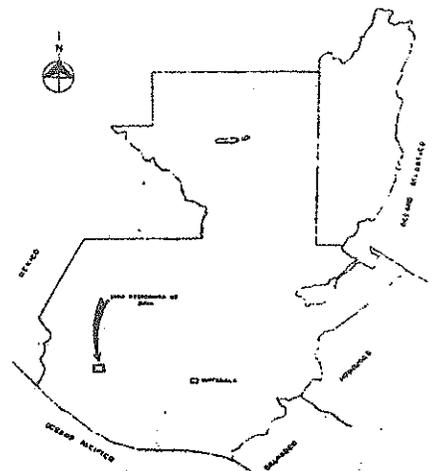
FIGURA 15



**INDICACIONES**  
 LINEA AEREA  
 LINEA DE FERROCARRIL  
 LINEA DE CAMINO  
 LINEA DE CABLETELÉFONO  
 LINEA PRINCIPAL



**INDICACIONES GEOLÓGICAS**  
 FALDA GEOLÓGICA  
 FALDA ULTRÓLICA INFERIOR  
 CONTACTO GEOLÓGICO  
 CRATER VOLCÁNICO



INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRICIDAD - INEE				
ESTUDIOS GEOTÉRMICOS				
ZONA GEOTÉRMICA DE EZHUL				
<b>COMPLEJOS GEOLÓGICOS</b>				
ORDEN DE SECCION	REA. EC. USO O TONELAS	RELVSO NO O USUAS	USO POR USUO O ESTRUCTURA	FECHA ADOPC. US

sitios sobrepasa los 1.000 m. Está constituido principalmente de lavas andesíticas piroxénicas, riolita (perlítica), sedimentos tobáceos consolidados, fragmentos líticos pumicíticos, lahares de composición gruesa, tobas soldadas riocíticas y probablemente aglomerados basales.

Estructuralmente puede identificarse dos Sistemas principales de fracturas. El Sistema Samalá que sigue una orientación NE-SW. Su principal fractura es la Falla Samalá, que atravieza el Campo Geotérmico de Zunil. Localmente, con otras fallas menores correspondientes a este Sistema, forma pequeñas estructuras en Grabens, que controlan el Campo.

El Sistema de Olinztepeque con orientación E-W, parece ser el más joven e interviene también estructuralmente en el Campo Geotérmico de Zunil. Ambos Sistemas se encuentran formando ángulos con el Sistema regional NW-SE, que se manifiesta dentro del área únicamente por la alineación de los edificios volcánicos.

El Campo Geotérmico de Zunil se localiza en el contacto, hacia el SE, del Complejo Volcánico Cuaternario con el Complejo de Rocas Terciarias. Sus manifestaciones principales se encuentran a lo largo del cañón formado por el Río Samalá. Se ha delimitado un área de interés primario de 11.5 Km<sup>2</sup> y un área de 5 Km<sup>2</sup>, explorada con perforaciones hasta de 450 m de profundidad, con temperatura superior a 200°C. Es precisamente en esta última área donde se han seleccionado tres sitios para realizar perforaciones exploratorias profundas.

## 5.2 Geoquímica

Los resultados de análisis químicos de manantiales naturales son una guía útil para el desarrollo geotérmico. Medidas cuantitativas de varios componentes y la determinación de ratios entre ciertos elementos dan información de la temperatura de los acuíferos profundos, tipo de rocas. Y el origen y formación de las manifestaciones. Estos métodos para obtener información, están basados en las reacciones entre los minerales de las rocas, el agua y la solubilidad bajo ciertas condiciones de presión y temperatura. Debe considerarse ciertos factores como dilución por aguas superficiales, separación de vapor y los factores que son influenciados por el pH. Los datos analíticos de

manantiales y gases de fumarolas proporcionan valiosa información para delimitar las áreas más promisorias y los lugares para efectuar las perforaciones exploratorias para la generación de energía.

En el área geotérmica de Zunil, por sus características propias, no emergen en superficie agua de origen profundo, excepto en el manantial denominado Z-20 y Z-12, que posee alta salinidad, temperatura 93°C (temperatura del punto de ebullición a esta altitud), flujo de 500 l/min aproximadamente y cumple con la mayoría de los indicadores geoquímicos. Tiene altos valores SiO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, PO<sub>4</sub>, F, Li y NH<sub>4</sub>, al relacionar estos datos se obtienen ratios altos Ca/Mg, Na/Ca, Cl/HCO<sub>3</sub>, Cl/SO<sub>4</sub> y ratios bajos Na/Li (Ver Tabla 3).

Al aplicar los geotermómetros químicos Na-K-Ca, SiO<sub>2</sub> y Na/K se obtuvieron temperaturas cercanas a 210°C.

Por el escaso afloramiento de aguas con características profundas, se llevó a cabo el análisis de gases de fumarolas y sus resultados confirmaron que el centro de actividad está en los alrededores del manantial Z-20 (fumarola grande).

Los resultados representativos de análisis de gases dentro del área estudiada tienen 99.16% de vapor de agua y 0.84% de gases no condensables; de los gases no condensables, 94.2% CO<sub>2</sub>, 1.3% H<sub>2</sub>S, 4.5% residuales. El ratio CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S, indica que tienen un recorrido menor desde su origen hasta la superficie. En paralelo a estos trabajos se tomaron condensados de las manifestaciones fumarólicas. Si el vapor viene del mismo acuífero y gasificado en proporción a la temperatura, en profundidad, las cantidades de estos componentes volátiles (Ej. Hg, HBO<sub>2</sub>) en el agua condensada indican alta temperatura en profundidad.

El análisis de los fluidos producidos por el pozo Z-4, con una profundidad de 274 m dió resultados muy similares a los obtenidos en el manantial Z-20. La distancia entre estos dos puntos es de 200 m aproximadamente.

Con los indicadores geoquímicos de análisis de manantiales, gases fumarólicos condensados, se puede ver que correlacionan bastante bien entre sí, lo que permite delimitar esta área como la más promisorias para efectuar las perforaciones exploratorias profundas desde el punto de vista geoquímico.

TABLA No. 3

COMPOSICION QUIMICA DE LOS MANANTIALES CALIENTES EN EL AREA DE ZUNIL

No.	Muestra No.	Localidad	(°C) Temp.	(ppm) Volume	FPH	LPH	(ppm) Cl	(ppm) HCO <sub>3</sub>	(ppm) SO <sub>4</sub>	(ppm) Na	(ppm) K	(ppm) Ca	(ppm) Mg	Na/K	Instrucciones
1	Z-4	Cataratas de Zunil	60	5	7.3	8.14	84.07	242.52	69.15	146.0	13.8	15.23	7.48	18.1	Con travertino
2	Z-6	Cataratas de Zunil	63	5	7.4	7.78	94.35	387.66	86.44	186.0	14.2	16.03	7.23	22.5	Con travertino
3	Z-16	Al oeste de la línea 4	61	10	7.5	7.56	161.69	667.54	169.17	272.5	37.2	44.48	60.32	12.5	Con travertino
4	Z-19	Balneario Aguas Amargas	72	6	2.3	2.25	30.24	0.00	1180.47	92.5	30.4	34.05	16.85	5.2	Con travertino
5	Z-20	Fumarola grande	78	17	8.0	9.08	717.73	126.16	182.75	585.0	53.0	3.20	0.96	18.7	Con deposiciones
6	Z-21	Los Baños	64	15	7.4	7.38	55.84	7.20	75.73	95.0	8.0	14.02	10.61	20.7	Con travertino
7	Z-23	Los Baños	51	5	7.0	6.85	42.94	15.92	31.69	80.5	10.4	6.01	24.85	13.5	Con travertino
8	Z-24	Villa Zunil	47	7	7.3	7.30	62.49	207.00	53.51	115.5	15.4	12.82	10.61	12.9	Con travertino
9	Z-26	Villa Zunil	40	8	7.2	7.03	36.29	224.14	41.16	88.5	14.0	13.62	15.44	10.7	Con travertino
10	Z-27	Villa Zunil	50	3	7.3	7.25	101.81	214.34	71.62	135.5	14.0	14.42	7.96	16.4	Con travertino
11	Z-29	Hidroeléctrica	51	10	7.1	7.18	47.37	165.34	16.05	70.5	12.0	10.02	6.99	9.9	Con travertino
12	Z-30	Xejuyub	45	5	6.9	6.91	50.04	126.16	4.12	34.0	4.0	11.22	7.96	14.8	Con travertino
13	Z-31	Balneario Fuentes Geor- ginas.	35	8	1.5	2.32	20.16	0.00	968.91	104.0	37.0	46.05	33.75	4.8	Piscina
14	Z-32	Xejuyub	50	7	6.9	6.99	9.07	122.48	5.35	22.5	5.0	10.42	7.48	7.5	Con travertino
15	Z-33	Hidroeléctrico	57	4	7.3	7.12	56.45	156.78	19.76	79.5	32.8	9.61	5.54	4.1	Con travertino
16	Z-34	Balneario Fuentes Geor- ginas.	27	2	2.5	2.12	24.19	0.00	1534.04	151.3	36.4	66.10	31.35	7.1	Con travertino
17	Z-35	Fumarola Negra	54	5	5.5	5.20	4.03	26.94	140.36	26.0	9.8	22.04	10.61	4.5	
18	Z-36	Fumarola Negra	96	4	3.5	3.45	20.16	0.00	266.31	34.0	31.6	32.05	22.90	1.8	
19	Z-37	Area oeste de la línea 4	25	10	6.7	6.98	87.29	618.56	95.90	104.5	24.6	36.07	53.32	7.2	Lodazal
20	Z-38	Area oeste de la línea 4	96	3	4.6	4.13	16.53	28.16	311.17	34.0	25.8	5.61	42.22	2.2	Con travertino
21	Z-41	Baños Termales Los Vahos	25	0.5	6.5	6.50	3.02	17.14	0.00	10.0	1.2	2.40	0.24	14.3	
22	Z-4	Pozo			9.03	9.03	740.91	64.12	184.78	522.93	46.64	7.52	0.07		

### 5.3 Geofísica

Los métodos de prospección geofísica aplicados fueron los siguientes: método geoelectrico, sísmico (reflexión y refracción), y actualmente gravimetría y magnetometría.

#### 5.3.1 Geoelectrica

Las investigaciones geoelectricas en Zunil han cubierto hasta la fecha un área aproximada de 40 Km<sup>2</sup>. Los sondeos eléctricos verticales proporcionan la siguiente información:

- a) La interpretación permitió construir un blo que diagramático del área (Figura 16), el cual demostró que la zona anómala de menor resistividad ( $< 10$  ohm-m), que puede correlacionar con la existencia de un reservorio geotérmico, se distribuye hacia el lado oeste del Río Samalá a través de la línea N° 1 y flanco oeste de las líneas N°s 2 y 3, siendo limitada hacia el noroeste por una discontinuidad geoelectrica que parece coincidir con la falla que limita hacia este mismo lado el Graben de Zunil.
- b) El área de mayor conductancia longitudinal que puede estar en correspondencia con la presencia de fluido geotérmico, se encuentra localizada en el lado suroeste del Río Samalá alrededor de los S.E.V. N°s 10 y 11 (200 a  $> 300$  mho) disminuyendo gradualmente hacia el poblado de Zunil y hacia el lado este del Río Samalá (Figura 17).

#### 5.3.2 Sismología

La Misión Japonesa realizó sísmica de reflexión y refracción a través de las líneas N°s 1 y 3, cubriendo una longitud de 5.200 m de sísmica de reflexión y 1.125 de refracción.

La sísmica proporcionó la siguiente información:

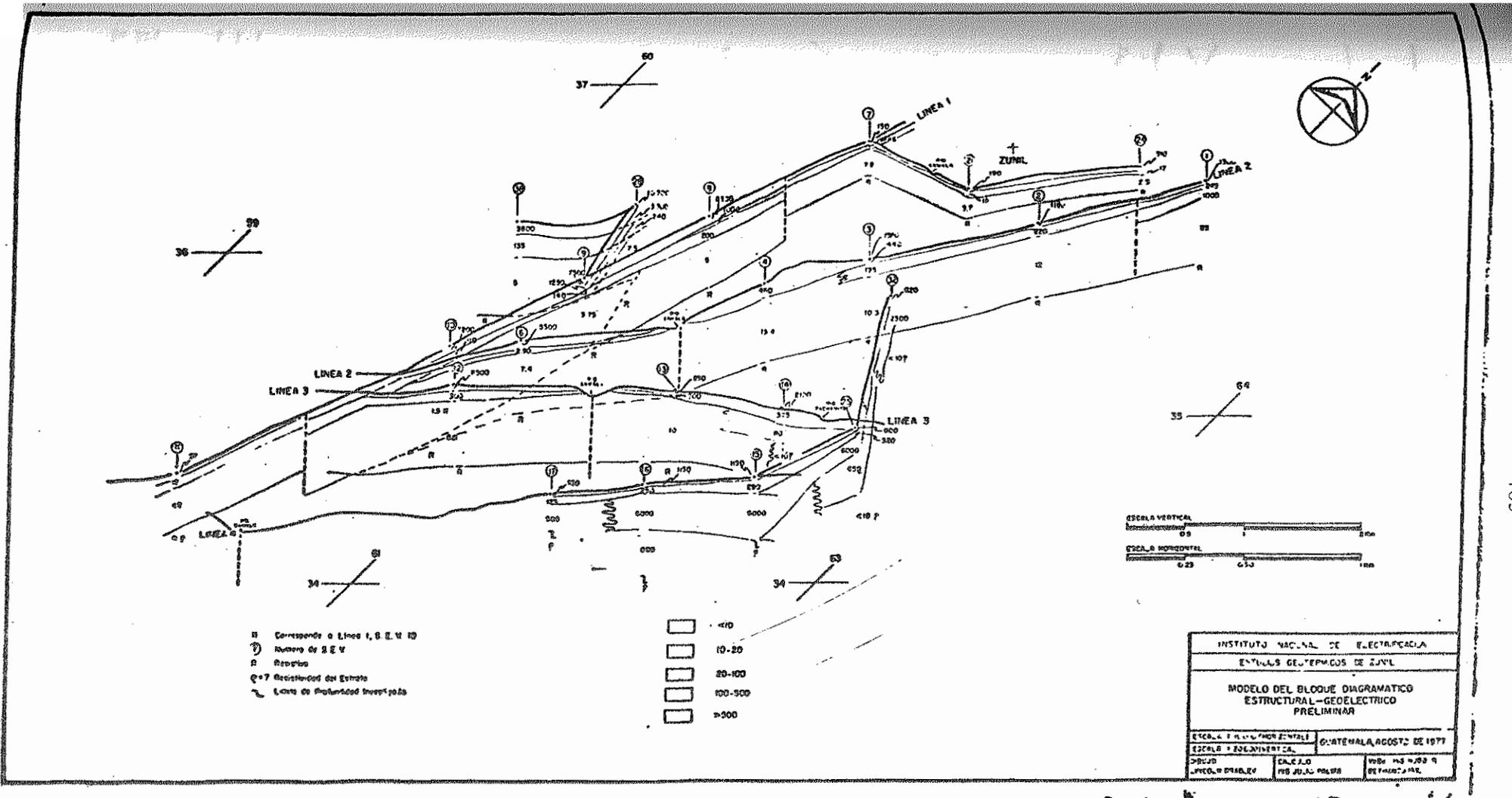


FIGURA 16

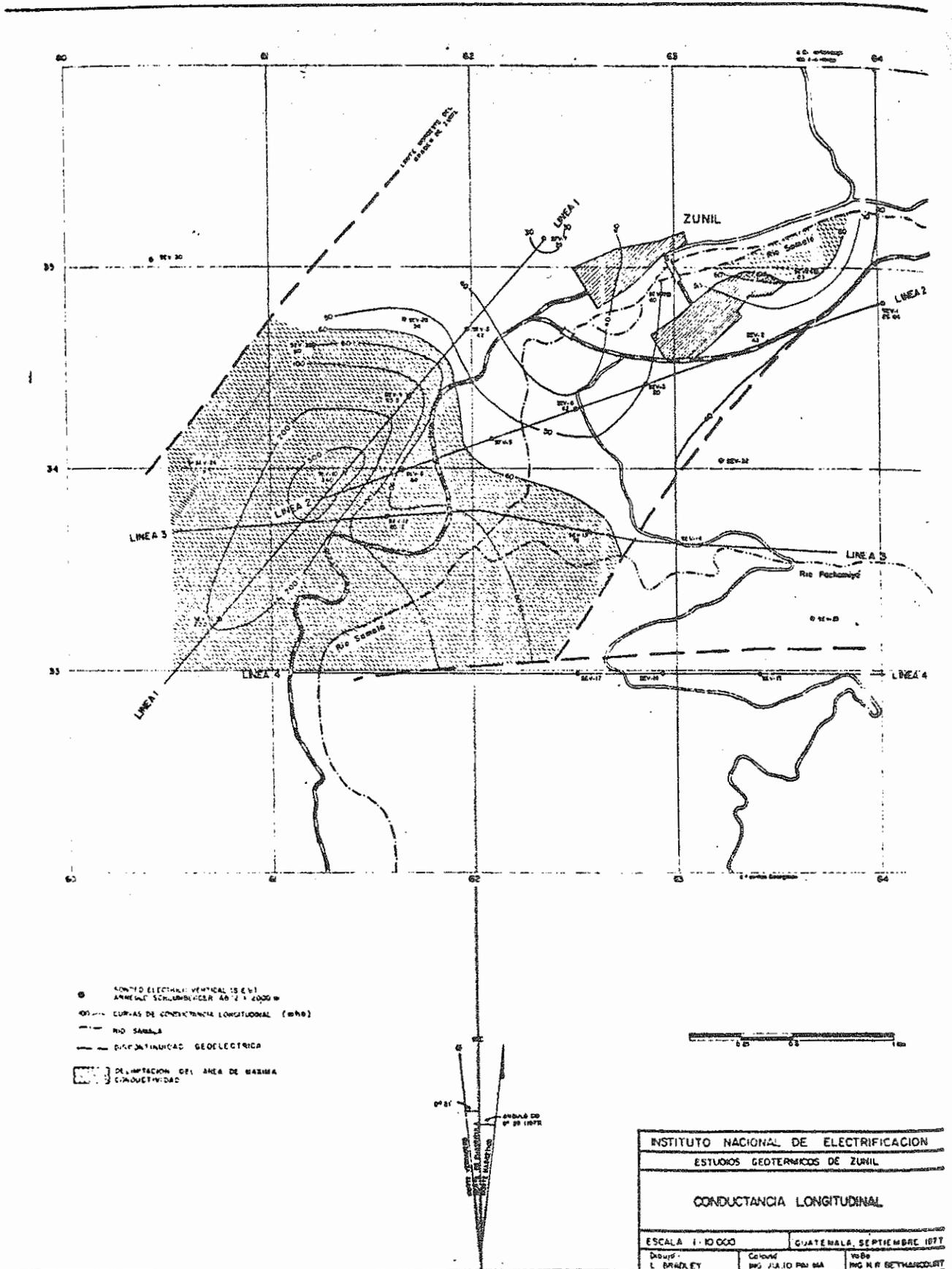


FIGURA 17

- a) En la línea N°1 (Figura 18) el espesor del aluvión oscila entre 20 y 70 m, una estructura en forma anticlinal es estimada con la estación N° 47 como centro, que puede corresponder con un contacto entre las lavas andesítica y riolita, estimado de la investigación geológica, a la profundidad de 500 m se puede observar una estructura monoclinial con rumbo NE. Al sur de la estación N° 70 desde una profundidad de 350 a 700 m de la superficie existe una zona de baja señal que podría corresponder con roca compacta con pequeñas juntas. Si el reservorio geotermal existe debajo de esta zona este mismo puede actuar como sello.
  
- b) En la línea 3 (Figura 19) el espesor del aluvión oscila entre 20 y 55 m, a lo largo de esta línea y con rumbo este-oeste puede ser observado que una estructura en forma de graben es formada por algunas fallas. La interpretación de las características de las rocas en la zona de baja señal es similar a lo establecido en la misma zona en la línea 1.

### 5.3.3 Magnetometría y Gravimetría

Las investigaciones de prospección magnética y gravimétrica en Zunil han cubierto un área de 100 Km<sup>2</sup> y se encuentran actualmente en la fase de interpretación.

### 5.4 Perforación de Pozos Exploratorios con Diámetro Reducido

Las perforaciones realizadas en el área de Zunil (5 pozos hasta la fecha) han sido programados con la finalidad de investigar la estratigrafía, condiciones de temperatura (gradiente) así como para confirmar y establecer una correlación con las anomalías geofísicas encontradas en la primera fase de exploración. Las perforaciones se han efectuado con recuperación continua de núcleos.

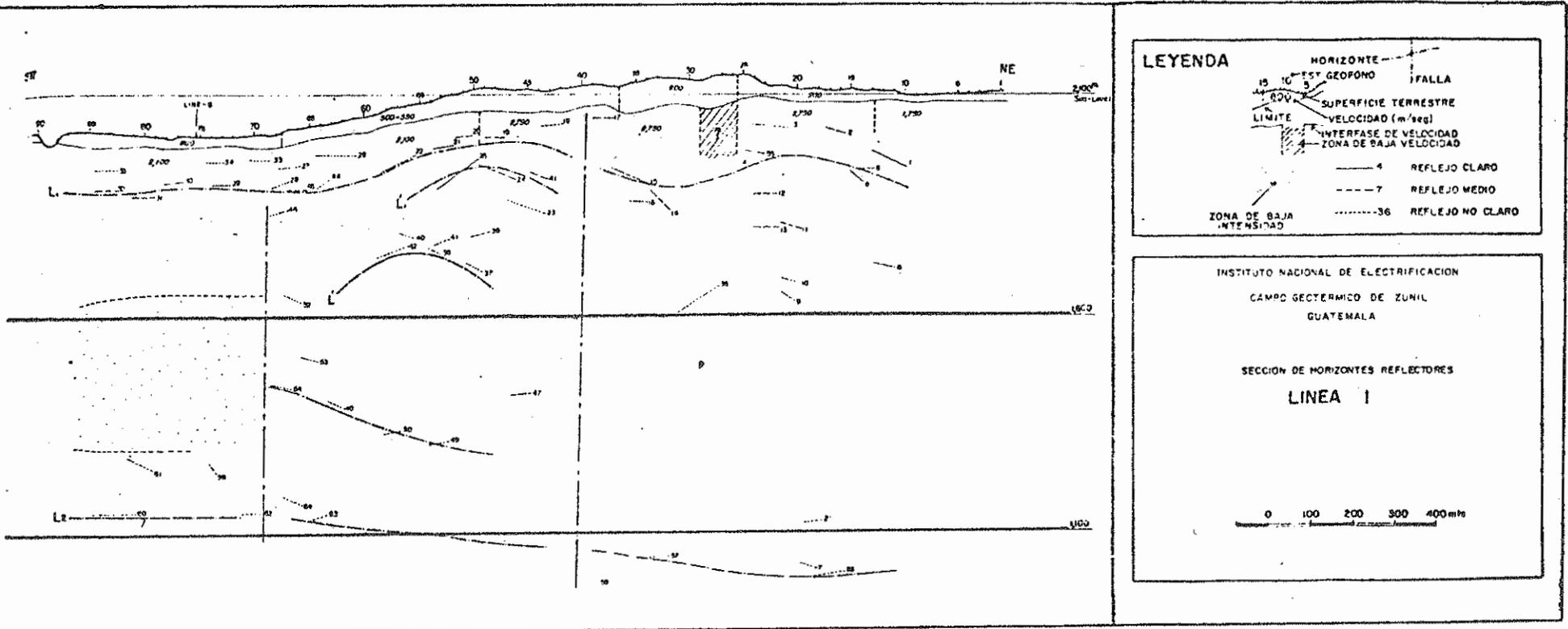


FIGURA 18

172

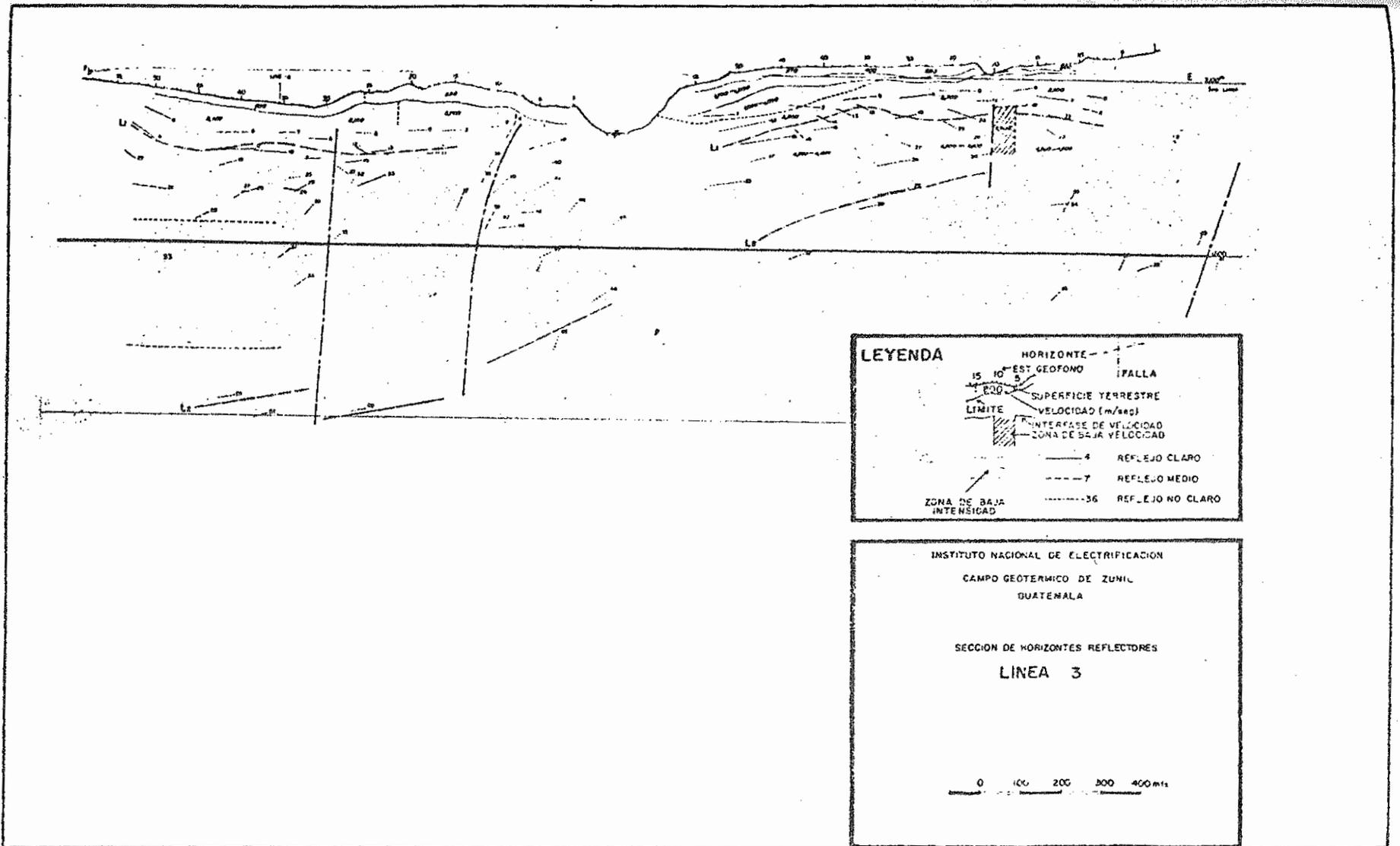


FIGURA 19

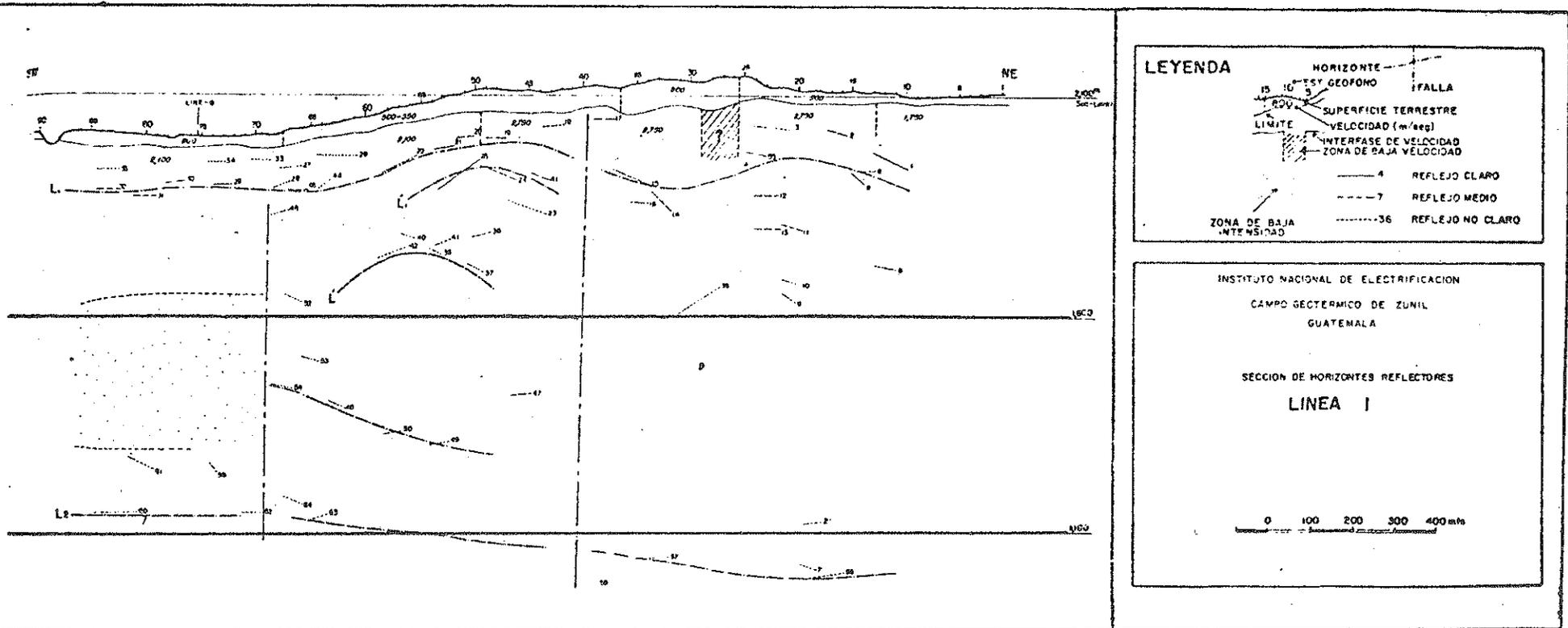


FIGURA 18

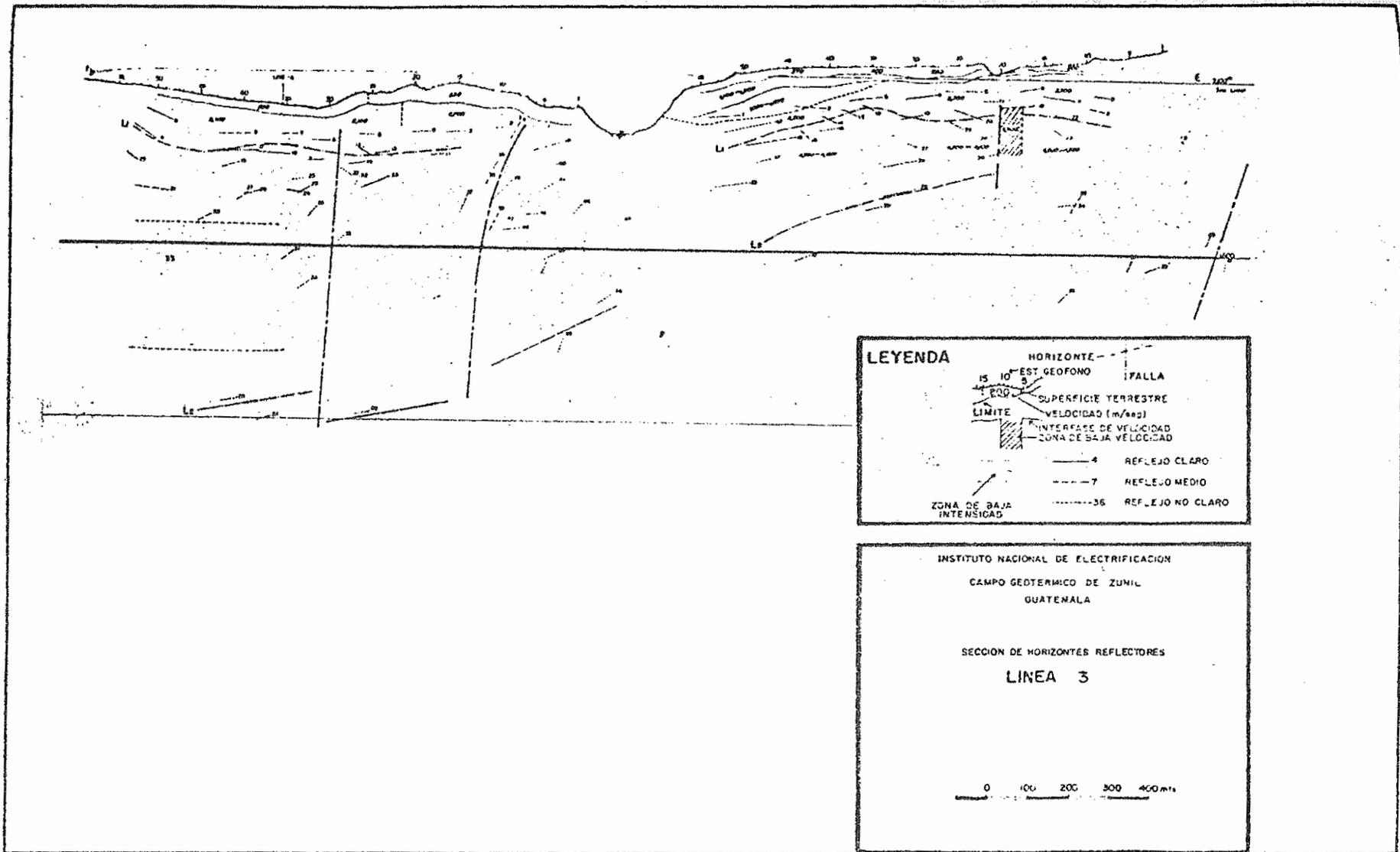


FIGURA 19

El programa está llevándose a cabo usando perforadoras pequeñas con Wire Line, habiéndose alcanzado profundidades que varían de los 200 a los 450 m. En todos los pozos se han encontrado indicios favorables que señalan la existencia de una anomalía térmica de considerable magnitud. Los pozos, denominados del Z-1 al 5 (Figura 20), tienen temperatura que varían de 100°C a 210°C como se indica a continuación:

Pozo N°	Profundidad, metros	Temperatura a fondos °C
Z-1	300	100
Z-2(*)	270	210
Z-3	282	174
Z-4(**)	274	210
Z-5	452	154

NOTAS (\*): En proceso de perforación

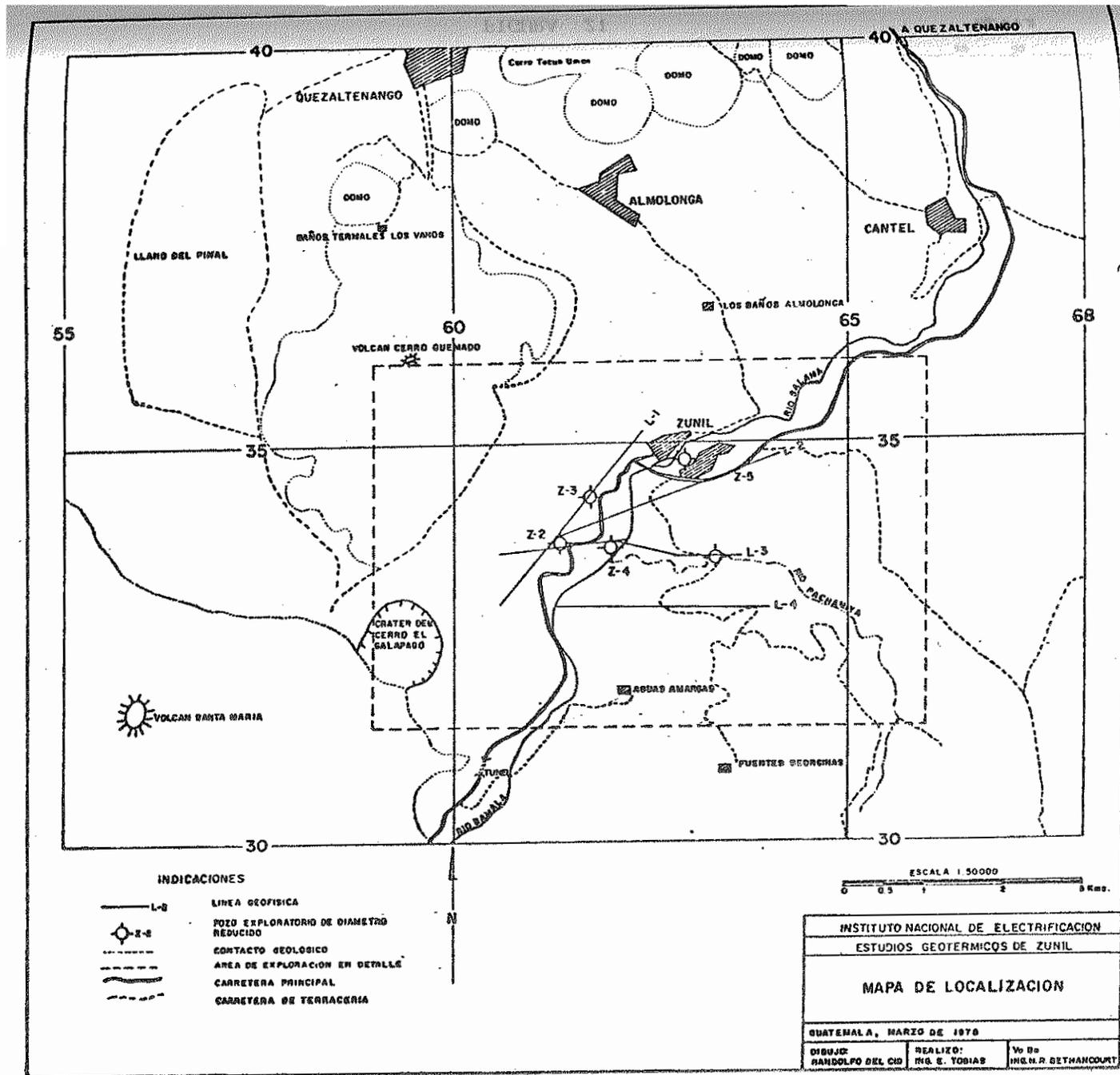
(\*\*): Pozo fluyendo con una mezcla de agua-vapor

Todas las mediciones de temperatura han sido efectuadas con equipo especial (amerada Kuster). Las temperaturas medidas han correlacionado con las deducidas por métodos geoquímicos.

La evaluación de las características termodinámicas está en vías de ejecución.

El diagrama de terminación del pozo Z-4, así como su descripción litológica y temperatura se encuentran en diagrama adjunto (Figura 21). Actualmente se continúa con este programa de perforaciones exploratorias con la finalidad de explorar directamente el área de interés.

FIGURA 20



# POZO Z-4

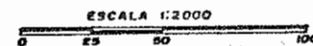
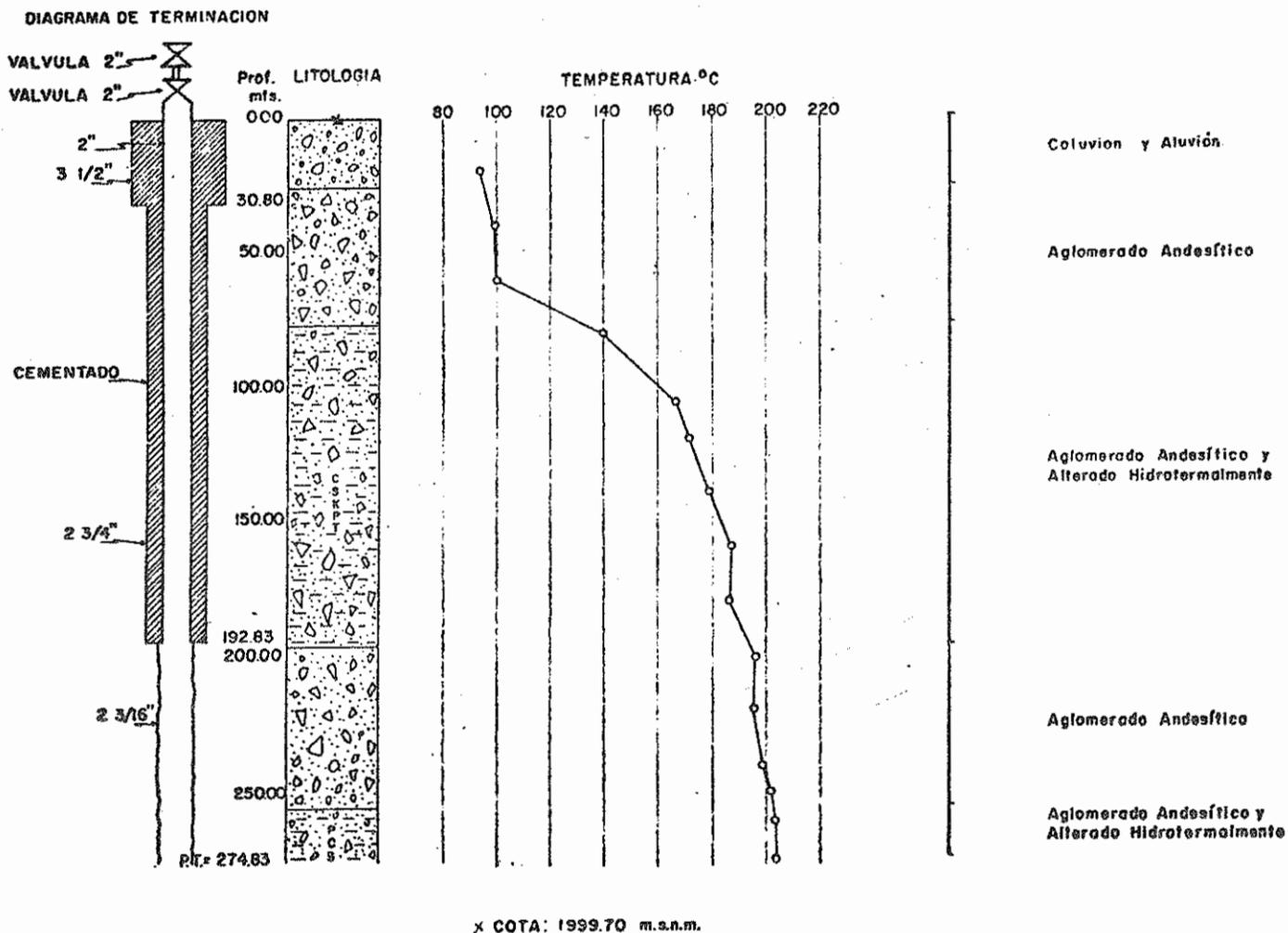


fig. V 7.2

FIGURA 21

H A I T I

INFORME PRELIMINAR SOBRE LAS POSIBILIDADES GEOTERMICAS  
DE LA REPUBLICA DE HAITI

/ \* GEOTERMICA  
/ INFORME TECNICO  
/ RECURSOS ENERGETICOS  
/ HAITI

AUTOR:

Dr. Andrea Merla (AQUATER-ENI, Italia)

CO-AUTORES:

Dr. Thomas Casadevall (EPN, Ecuador - U.S.G.S.  
EE.UU)

Dr. Salvador García Durán (CFE - México)

Ing. Gustavo Rodríguez Elizarrarás (OLADE)

CONTENIDO:

1. INTRODUCCION
2. CUADRO ESQUEMATICO DE LA HISTORIA VOLCANICA DE HAITI
3. LAS VERTIENTES TERMALES DE HAITI
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
5. ESTUDIO DE RECONOCIMIENTO - CALCULOS DE COSTO Y TIEMPO

INFORME PRELIMINAR SOBRE LAS POSIBILIDADES GEOTERMICAS DE LA  
REPUBLICA DE HAITI

1. INTRODUCCION

Del 2 al 5 de noviembre de 1977, una misión técnica de OLADE (Organización Latinoamericana de Energía), visitó la República de Haití con el fin de presentar el programa de OLADE para fomentar la energía geotérmica como una fuente alternativa o complementaria de energía.

Los objetivos principales de la visita de OLADE fueron los siguientes:

- 1.1 Presentar a las autoridades locales y al personal técnico el primer borrador del documento "Esquema de una Metodología de Exploración Geotérmica". Este documento fue preparado en Quito, Ecuador, por un equipo de expertos geotérmicos coordinado por la Dirección Técnica de OLADE. Los co-autores fueron: Thomas Casadevall, Escuela Politécnica Nacional, Quito (ahora Geoquímico residente del Observatorio Vulcanológico de Hawai por el U.S.G.S.); Salvador García Durán, Comisión Federal de Electricidad, México; Andrea Merla, IILA-GEOTECNECO (ENI), Italia y Gustavo Rodríguez Elizarrarás, OLADE.

Este documento representa el esfuerzo realizado por OLADE para definir los lineamientos principales de exploración geotérmica a fin de proporcionar a los países que actualmente comienzan a explorar sus posibilidades geotérmicas, los resultados de la experiencia adquirida en países donde la energía geotérmica ya se está produciendo (México, Italia, El Salvador, EE.UU., etc.).

La versión final del documento será emitida a principios de 1978(\*) y además del texto original, contendrá las observaciones y correcciones de muchos expertos geotérmicos así como de instituciones de América Latina y otros lugares, que actualmente están estudiando el documento.

---

NOTA (\*): El documento final "Metodología de Exploración Geotérmica" (Fases de Reconocimiento y Pre-factibilidad) ya ha sido impreso y distribuido por OLADE.

- 1.2 Establecer un primer contacto con autoridades locales y personal técnico para determinar el interés que tiene el país en iniciar un esfuerzo de exploración geotérmica y obtener una idea de la disponibilidad local de estructuras técnicas para realizar los trabajos exploratorios.
- 1.3 Realizar un reconocimiento preliminar de las posibilidades geológicas del país, basado especialmente en la literatura y la documentación disponibles, y sugerir un programa tentativo de trabajo exploratorio preliminar. Los resultados de este trabajo se presentan en los capítulos siguientes.

La misión técnica de OLADE fue conformada por Gustavo Rodríguez Elizarrarás, Dirección Técnica de OLADE, y doctor Andrea Merla de IILA-GEOTECNECO, Gerente de División Geotérmica (Grupo ENI, Italia).

Gracias a un acuerdo de cooperación técnica entre IILA (Instituto Italo-Latino Americano) y OLADE, el doctor Andrea Merla actuó como experto geotérmico representando a OLADE.

Durante su estadía en el país, el equipo de OLADE fue recibido por la Gerencia de INAREM y tuvo una reunión técnica con el personal del Instituto.

El 5 de noviembre se realizó una corta visita al área termal Eaux Boynes para llevar a cabo el primer reconocimiento de las condiciones geológicas y geomorfológicas del área.

OLADE agradece especialmente a INAREM por su cálida recepción y por la documentación que fue puesta a la disposición de su equipo.

El doctor Merla, autor de este informe, desea reconocer especialmente la ayuda del Dr. Thomas Casadevall, Escuela Politécnica Nacional, Quito, quien contribuyó a la discusión y revisión de este informe.

## 2. CUADRO ESQUEMATICO DE LA HISTORIA VOLCANICA DE HAITI

La mayor parte de las Penínsulas del norte y del sur de Haití (Figura 1), conforman extensos afloramientos de rocas volcánicas e intrusivas Cretáceas (basaltos, andesitos cuarzodioritos). Una secuencia metamórfica Cretácica (esquistos silicios, radiolaritos, etc). está asociada con los complejos ígneos. Estos afloramientos están característicamente controlados por tendencias tectónicas orientales-occidentales, occidentales-noroccidentales, orientales-sudorientales. El complejo Mesozoico parece representar una evolución de isla en arco, similar a aquella que ocurrió durante el mismo período en Jamaica. Este complejo representa, actualmente, el basamento metamórfico volcánico de Haití.

Las rocas volcánicas están intercaladas dentro de la secuencia Eocena calcárea y clástica de la parte norte central de la República. Estas están representadas principalmente por andesitas, lavas y tufos basálticos con intrusivos asociados.

Finalmente, en la parte central de Haití, a lo largo de los márgenes septentrionales del graben Cul de Sac, se encuentran los volcánicos menores. Su edad va desde el Oligoceno hasta el Cuaternario. Basaltos nefelínicos, de edad posiblemente Cuaternaria, están asociados con una falla septentrional que linda el graben de Cul de Sac.

El graben de Cul de Sac, que es la extensión occidental del graben del Lago Enriquillo de la República Dominicana, es una característica geológica extraordinaria. Desde el punto de vista regional, parece estar relacionado a la punta oriental del sistema tectónico de la depresión Cayman que se extiende desde la costa septentrional de Honduras.

El volcanismo de afinidad alcalina está asociado con el margen meridional de la depresión Cayman. En realidad, los basaltos alcalinos, que varían en edad desde fines de Mioceno hasta Cuaternario, están presentes en Bay Island, Honduras, en la costa septentrional de Jamaica (Low Leyton) y frente a la costa del Pasaje Jamaica, entre Jamaica y Haití. Los basaltos nefelínicos recientes del margen septentrional del graben Cul de Sac podrían estar relacionados con la misma estructura regional.

En una base puramente geológica, el graben de Cul de Sac parece ser la única área de posible interés geotérmico.

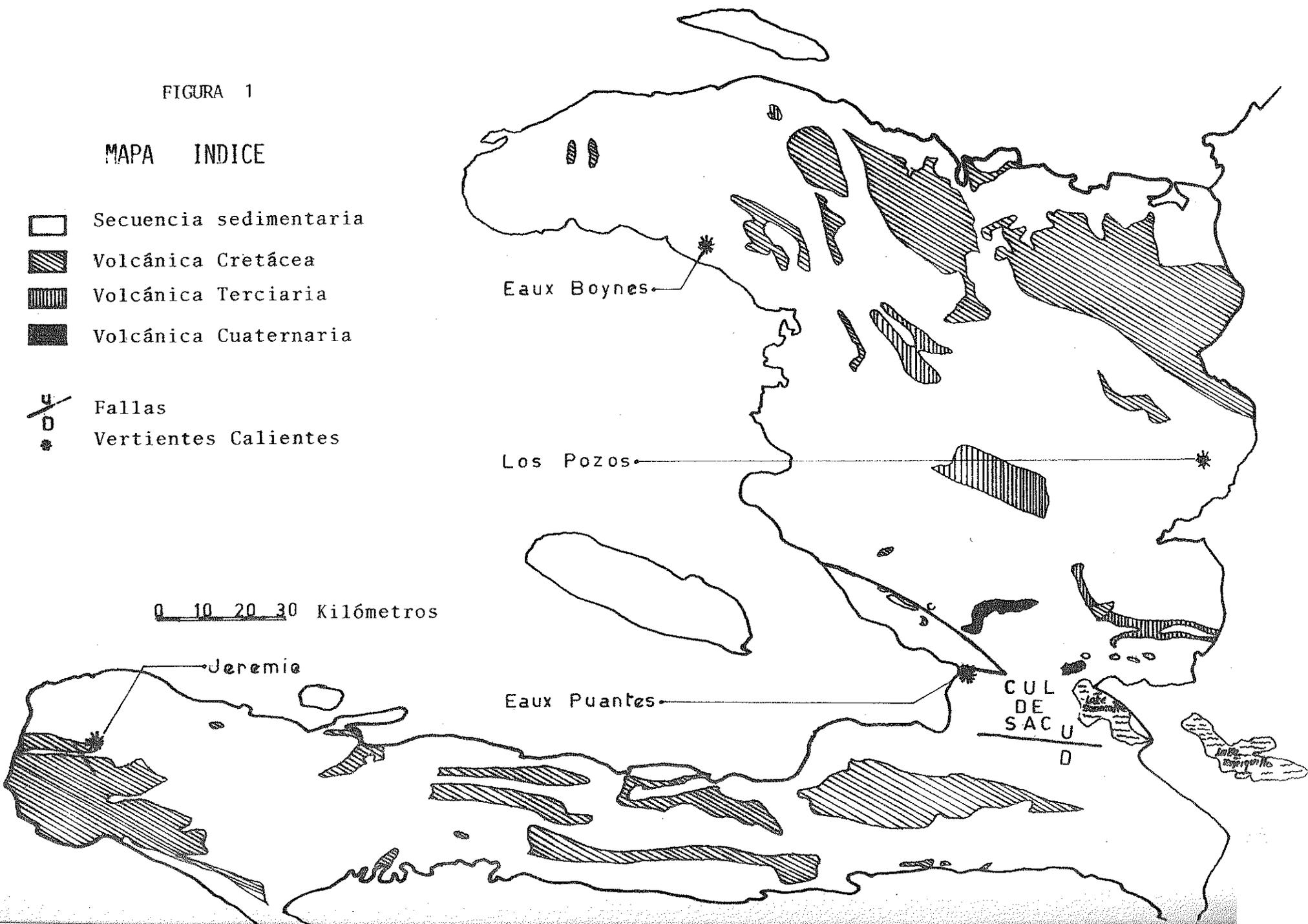
La anomalía termal que antes se relacionaba con el magnetismo

FIGURA 1

MAPA INDICE

-  Secuencia sedimentaria
-  Volcánica Cretácea
-  Volcánica Terciaria
-  Volcánica Cuaternaria
  
-  Fallas
-  Vertientes Calientes

0 10 20 30 Kilómetros



Cretácico y de fines del Terciario ahora se puede considerar extinto. Por otra parte, el volcanismo relacionado con el graben de Cul de Sac indica la posible existencia de anomalías termales a niveles someros de la corteza. El graben mismo es una estructura cuya subsidencia activa está demostrada por los niveles bajos del mar del lado del Lago Enriquillo. Esto sugiere que el magmatismo relacionado con esta estructura también podría ser activo.

Estas anomalías no están relacionadas a la actividad volcánica de tipo fisura, ya que este tipo de actividad generalmente no favorece la persistencia de una anomalía termal. Sin embargo, debería considerarse la posible existencia de cuerpos de magma atrapados a niveles someros de corteza a lo largo de los márgenes de fallas controladas por el graben de Cul de Sac.

Escasa evidencia sugiere esta hipótesis, pero sus implicaciones geotérmicas podrían ser muy interesantes. Se consideran justificados estudios vulcanológicos y petrológicos más detallados para verificar la viabilidad de esta hipótesis.

### 3. LAS VERTIENTES TERMALES DE HAITI

Se conocen cuatro ocurrencias principales de aguas termales en Haití. Otras ocurrencias están reportadas en la literatura más antigua, pero sus descripciones no están disponibles.

#### 3.1 Sources Pautes

Situada en el margen septentrional de falla controlada en la planicie de Cul de Sac.

#### 3.2 Eaux Boynes

Cerca de la costa en la península septentrional.

#### 3.3 Los Pozos

Cerca de los límites con la República Dominicana, en la parte central del país.

#### 3.4 Jeremie

En la punta occidental de la península meridional.

No existe un modelo particular en la distribución de las vertientes. Todas parecen estar relacionadas con fallas con tendencias E-O u ONO-ESE. A continuación sigue una breve descripción de sus principales características físicas y químicas.

#### 3.1 Sources Pautes - Planicie de Cul de Sac

Estas son las más conocidas del gran número, según se dice, de vertientes sulfurosas que existen en el país. Aflo<sup>r</sup>an en el contacto de falla entre los sedimentos de Mioce<sup>n</sup>o de las colinas al norte y el terreno aluvial reciente de la planicie de Cul de Sac, a algunos cientos de metros del mar.

Temperatura	=	32.7°C
Flujo total	=	30 litros/segundo
Total de sólidos disueltos	=	12.684 ppm

La composición química de estas aguas está fuertemente contaminada por agua del mar. Existe H<sub>2</sub>S en abundancia en la fuente de estas vertientes.

### 3.2 Eaux Boynes

En este sitio existen seis vertientes cálidas. Están situadas a lo largo de un contacto geológico, que posiblemente sea una falla, entre una formación margá Miocena y una formación caliza Eocena; en el sitio de la vertiente sólo están visibles tierra y terreno aluvial.

Temperatura	=	43-49°C
Flujo total	=	100 litros/minuto
Total de sólidos disueltos	=	403 ppm

El único análisis químico disponible sugiere una composición cercana a la de las aguas meteóricas, con sólo pocos incrementos en los contenidos de sodio, potasio y sulfato.

### 3.3 Los Pozos

Las vertientes termales de Los Pozos aflora a lo largo del declive del Paincroix Mountain Ridge, cerca del contacto entre las calizas del Eoceno que constituyen la cordillera, y las margas y conglomerados (Mioceno) de la planicie central. El contacto probablemente es de fallas controladas. Se han registrado cinco vertientes calientes, pero sólo se encontraron cuatro en un estudio reciente (INAREM).

Temperatura	=	31.5-42°C
-------------	---	-----------

Flujo total = Desconocido  
Total de sólidos disueltos = 1.214 mgms/litro

El análisis químico indica un aumento de cloruro de sodio con respecto a aguas normales de la vertiente, debido probablemente a la lixiviación de sedimentos marinos (argilita Miocénica).

### 3.4 Jeremie

Estas son las más conocidas de un grupo de vertientes cálidas situadas en la punta occidental de la península meridional. Las dos vertientes de Jeremie conocidas, ocurren a lo largo de la Grande Riviere de Jeremie, cerca del cauce del río; emanan de fisuras en rocas basálticas Cretácicas, cerca del contacto con una formación calcárea clástica de edad Eoceno.

Temperatura = Aproximadamente 35-40°C  
Flujo total = Desconocido  
Total de sólidos disueltos = 515 mgms/litro

La composición química del agua en Jeremie es diferente de otras aguas minerales de Haití (aumentos en sodio, potasio, cloruro y sulfatos) debido posiblemente a su circulación enteramente dentro de las rocas volcánicas.

### 3.5 Implicaciones Geotérmicas

En base a la documentación disponible, ninguna de estas fuentes presenta, en sí misma, un interés geotérmico especial. Sin embargo, no se debe descartar como posibilidad ya que la naturaleza y el origen exactos de las vertientes termales son todavía desconocidos. En cuanto a su origen, hay la posibilidad de dos hipótesis:

- a) El agua templada de la vertiente puede representar aguas meteóricas de acuíferos profundos que surgen a la superficie mediante fallas o barreras de permeabilidad. En este caso, su temperatura se debería solamente a calentamiento dentro de un ambiente de gradiente geotérmico normal. Esto es lo más probable, por lo menos en el caso de algunas de las vertientes conocidas.
  
- b) Las vertientes templadas pudieran representar agua freática fría, calentada por la mezcla con pequeñas cantidades de fluidos más calientes, de origen más profundo (\*). En este último caso, existen obvias implicaciones geotérmicas interesantes, ya que a profundidad se puede esperar la presencia de fluidos anormalmente calientes, posiblemente aptos para la explotación geotérmica.

Actualmente, no hay solución para el problema de las vertientes termales de Haití, debido a la falta de datos hidrogeológicos y geoquímicos.

---

NOTA (\*): Estudios geoquímicos recientes han demostrado que todos los fluidos geotermales son de origen meteórico. Por consiguiente, ya no tiene validez el "origen magmático". Por supuesto, sin embargo, la "fuente de calor" tiene su abastecimiento en cuerpos de magma refrescantes (cámaras magmáticas de volcanos o intrusiones).

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Consideraciones geológicas regionales indican que el graben de Cul de Sac - Lago Enriquillo es la única estructura geológica de Hispaniola que es de interés para la exploración geotérmica.

Esta estructura es muy probablemente, parte del sistema tectónico de la depresión Cayman. La evidencia indica que el volcanismo reciente está asociado con las fracturas que lindan con el graben de Cayman. Afloramientos de basaltos nefelínicos de una edad probablemente Cuaternaria en Haití se encuentran, en realidad, cercanos al margen norte del graben Cul de Sac, apoyando así esta hipótesis. Pueden estar presentes cuerpos de magma subyacentes a la estructura todavía activa, posiblemente atrapados a lo largo de sus márgenes de fallas controladas.

No existen en el área manifestaciones termales notables, sin embargo, en la República Dominicana, al sudeste del Lago Enriquillo, se localizan algunas vertientes templadas (aproximadamente 50°C). Este es un elemento adicional que confirma el interés geotérmico del graben de Cul de Sac.

Aunque la información existente no es muy prometedora, no se puede descartar completamente la posibilidad de otras fuentes térmicas en Haití, relacionadas con un sistema geotérmico profundo.

En base a las conclusiones anteriores, se recomienda el siguiente programa exploratorio preliminar.

##### I. Graben Cul de Sac

Se necesita un estudio vulcanológico y petrológico completo y detallado para determinar con precisión la edad de los episodios volcánicos más recientes. Se debería investigar las características petroquímicas de las rocas volcánicas y aclarar su relación con el tectonismo regional de esta parte del Caribe.

Este es un estudio de bajo costo que debería realizar personal especializado en vulcanología aplicada a la exploración geotérmica. Los resultados del estudio podrían ser suficientes para determinar el interés geotérmico del área.

El trabajo debe consistir en la recopilación y evaluación de toda la literatura pertinente disponible sobre esta parte

del Caribe; de un reconocimiento y de la toma de muestras en el campo, así como de trabajo de laboratorio completo (análisis petrográfico, mineralógico y químico y la determinación de edad absoluta).

Este estudio no debe durar más de 4 a 5 meses y sería conveniente extenderlo hasta República Dominicana.

## II. Otros sitios termales de Haití

Para determinar la verdadera naturaleza y el interés geotérmico de las diferentes vertientes termales que existen en Haití, se deben realizar las siguientes investigaciones de bajo costo:

- a) Un inventario completo de las vertientes termales del país

De la literatura disponible, parece que se ha visitado y descrito solamente una parte de las vertientes termales existentes. Es importante tener un cuadro completo de la distribución y características de las fuentes termales.

Se debe determinar en cada fuente: la temperatura, el pH, y la conductividad. Se debe dar, además, una descripción geológica detallada. Asimismo, se debe llevar a cabo un trabajo analítico completo y toma de muestras (Véase el Documento Metodológico de OLADE).

- b) En las áreas de Eaux Boynes y Los Pozos, se necesitará un estudio hidrogeológico detallado y muestras y análisis geoquímicos (Véase el Documento Metodológico de OLADE) de todos los puntos existentes de agua fría y caliente (pozos, vertientes, drenajes) para determinar su origen. Las áreas estudiadas no deben exceder de 100 Km<sup>2</sup>. La toma de muestras y las mediciones de las fuentes termales deben reportarse antes y después de las lluvias fuertes y deberán realizarse durante varias épocas del año. Este trabajo deberá terminarse dentro de un año paralelamente al inventario de la investigación incluida en el inciso (a).

Los requisitos de personal incluyen: uno o dos hidrogeólogos; además, se necesitará un laboratorio geoquímico equipado para análisis de agua. La preparación e interpretación final de los datos requieren personal con vasta experiencia en la exploración geoquímica.

Los resultados de este programa preliminar de exploración eventualmente permitirán que sean determinadas las verdaderas posibilidades geotérmicas del país y, en el caso favorable, que se defina un esfuerzo adicional exploratorio más costoso.

5. ESTUDIO DE RECONOCIMIENTO - CALCULOS DE COSTO Y TIEMPO

5.1 Geología y Vulcanología Regional

<u>PERSONAL</u>	<u>TIEMPO</u>	<u>COSTOS US\$</u>
1 vulcanólogo (experto)	2 meses trabajo de campo	12.000.00
1 geólogo regional (experto)	2 meses trabajo de oficina	12.000.00
Además, costo para análisis (rocas) aproximadamente, y		1.500.00
Gastos de viaje		<u>6.000.00</u>
COSTO TOTAL GEOLOGIA Y VULCANOLOGIA		US\$31.500.00

5.2 Hidrogeología y Geoquímica<sup>(\*)</sup>

1 hidrogeólogo (local) capacitado para tomar muestras geoquímicas de agua	6 meses (trabajo de campo y oficina)
1 ayudante de campo	1 mes (trabajo de campo)
1 geoquímico experto	3 meses (procesamiento, interpretación y verificación analítica de computadora)
1 instalación de laboratorio (existente localmente) que puedan efectuar análisis de agua a \$50.00 hasta \$ 100.00 cada uno.	

---

NOTA (\*): Tomando en cuenta dos áreas piloto de 100 Km<sup>2</sup> cada una.

personal local	US\$10.000.00 + US\$5.000.00 para entrenamiento en técnicas de tomar muestras y en la compra de equipo.
personal experto	US\$33.000.00 (incluyendo computadora y corrección).
trabajo analítico	US\$ 5.000.00
COSTO TOTAL HIDROGEOLOGIA Y GEOQUIMICA	US\$ 58.000.00

TOTAL FASE RECONOCIMIENTO EN HAITI      US\$ 89.500.00

J A M A I C A

/ INFORME TECNICO /  
/\* GEOTERMIA /  
/ PROYECCION /  
/ JAMAICA // 1948 /

INFORME PRELIMINAR SOBRE LAS POSIBILIDADES GEOTERMICAS  
DE JAMAICA

AUTOR:

Dr. Andrea Merla (AQUATER-ENI, Italia)

CO-AUTORES:

Dr. Thomas Casadevall (EPN, Ecuador - U.S.G.S.,  
EE.UU)

Dr. Salvador García Durán (CFE, México)

Ing. Gustavo Rodríguez Elizarrarás (OLADE)

CONTENIDO:

1. INTRODUCCION
2. CUADRO GEOLOGICO
3. LAS AREAS TERMALES DE JAMAICA
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
5. ESTUDIO DE RECONOCIMIENTO - CALCULOS DE COSTO Y TIEMPO

## INFORME PRELIMINAR SOBRE LAS POSIBILIDADES GEOTERMICAS DE JAMAICA

### 1. INTRODUCCION

Del 6 al 9 de noviembre de 1977, una misión técnica de OLADE (Organización Latinoamericana de Energía), visitó Jamaica con el fin de presentar el programa de OLADE para fomentar la energía geotérmica como una fuente alternativa o complementaria de energía.

Los objetivos principales de la visita de OLADE fueron los siguientes:

- 1.1 Presentar a las autoridades locales y al personal técnico el primer borrador del documento "Esquema de una Metodología de Exploración Geotérmica".

Este documento fue preparado en Quito, Ecuador, por un equipo de expertos geotérmicos coordinado por la Dirección Técnica de OLADE. Los co-autores fueron: Thomas Casadevall, Escuela Politécnica Nacional, Quito (ahora geoquímico residente del Observatorio Vulcanológico de Hawai por el U.S.G.S.); Salvador García Durán, Comisión Federal de Electricidad, México; Andrea Meria, IILA-GEOTECNECO (ENI) Italia y Gustavo Rodríguez Elizarrarás, OLADE.

Este documento representa un primer esfuerzo realizado por OLADE para definir los lineamientos principales de exploración geotérmica a fin de proporcionar a los países que actualmente comienzan a explorar sus posibilidades geotérmicas, los resultados de la experiencia adquirida en países donde la energía geotérmica ya se está produciendo (México, Italia, El Salvador, EE.UU., etc.)

La versión final del documento será emitida a principios de 1978(\*) y además del texto original, contendrá las observaciones y correcciones de muchos expertos geotérmicos y de instituciones que actualmente están estudiando el documento.

---

NOTA (\*): El documento final "Metodología de Exploración Geotérmica (Fases de Reconocimiento y Prefactibilidad) ya ha sido impreso y es distribuido por OLADE.

- 1.2 Establecer un primer contacto con autoridades locales y personal técnico para determinar el interés que tiene el país en iniciar un esfuerzo de exploración geotérmica y obtener una idea de la disponibilidad local de estructuras técnicas para realizar los trabajos exploratorios.
- 1.3 Realizar un reconocimiento preliminar de las posibilidades geológicas del país, basado especialmente en la literatura y la documentación disponibles, y sugerir un programa tentativo de trabajo exploratorio preliminar. Los resultados de este trabajo se presentan en los capítulos siguientes.

La misión técnica de OLADE fue conformada por: Gustavo Rodríguez Elizarrarás, Dirección Técnica de OLADE, y el doctor Andrea Merla del IILA-GEOTECNECO, Gerente de la División Geotérmica (Grupo ENI, Italia).

Gracias a un acuerdo entre IILA (Instituto Italo-Latino Americano) y OLADE, el doctor Merla actuó como experto en geotermia por OLADE.

Durante su estadía en Jamaica, el equipo de OLADE fue recibido por el Secretario Permanente del Ministerio de Minas y asistió a dos reuniones técnicas con el personal de la División de Geología y Minas del Ministerio de Minas.

La siguiente es la lista de participantes:

Sr. Winston Leiba (Coordinador)	Economista Ministerio de Minas y Recursos Naturales
Dr. Raymond Wright	Comisionado de Minas Ministerio de Minas y Recursos Naturales
Econ. Ahmad Zia Mian	Economista de Energía
Sr. Roddy Ashby	Físico
Sr. F. McDonald	Geólogo
Dr. Geoff Wadge	Geólogo a/c Departamento de Geología University of West Indies Mona

También se entrevistaron con las siguientes personalidades:

Sr. Erwin L. Angus	Secretario Permanente Ministerio de Minas y Recursos Naturales
Dr. Trevor Byer	Asesor de Energía del Ministro de Minas y Recursos Naturales

El 8 de noviembre se realizó una corta visita a las vertientes geotérmicas de Bath of St. Thomas para efectuar un primer reconocimiento de las condiciones geológicas y geomorfológicas del área.

OLADE agradece especialmente a la División de Geología y Minas por su cálida recepción y por la literatura y la documentación que fueron puestas a la disposición de su equipo.

El Dr. Merla, autor de este Informe, desea reconocer especialmente la ayuda del Dr. Thomas Casadevall, Escuela Politécnica Nacional, Quito, quien contribuyó a la discusión y revisión de este Informe.

## 2. CUADRO GEOLOGICO

La Isla de Jamaica sufrió una evolución de tipo arco de isla en los últimos años de la época Cretácica, como se infiere del estudio de las áreas donde el basamento pre-Terciario aflora (Blue Mountains Block. Asomo Lazaretto, Asomo Berbow, etc.). La evolución Terciaria subsiguiente indica una primera fase de subsidencia de la parte central de la isla (Wagwater Trough) y una segunda fase de subsidencia, con la deposición del esparcido grupo de caliza White y el levantamiento y tectonismo final (orogonia del Caribe) que generó el actual modelo de afloramiento.

### 2.1 Historia Ignea

El volcanismo básico extensivo (tholeiítico, andesita) está asociado con la evolución Cretácica de la isla; también las intrusiones de los últimos años de la época Cretácica y el volcanismo piroclástico andesítico subaéreo pueden estar relacionados con la etapa final del proceso de subducción.

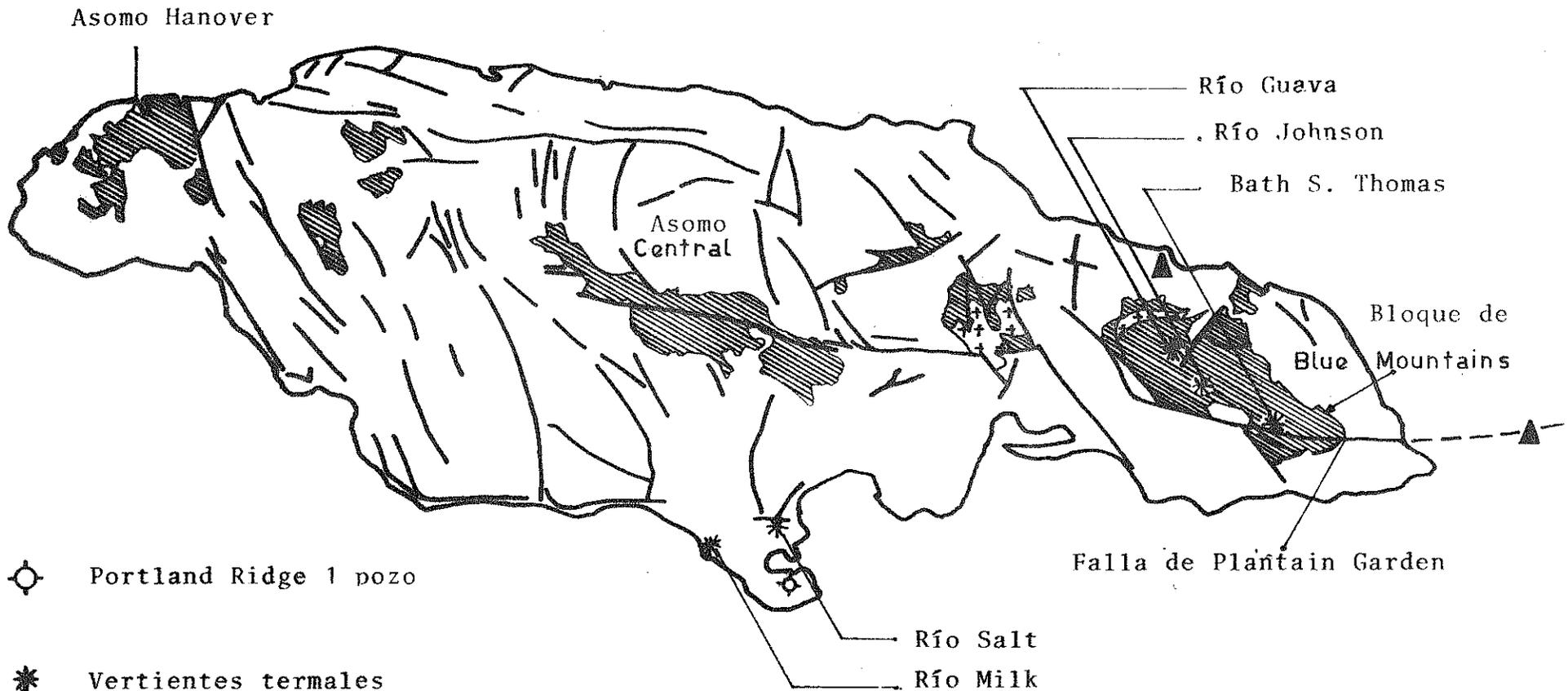
Un episodio bastante menos antiguo de volcanismo ocurrió en Low Layton en la costa noreste de la isla (Véase Figura 1). Su edad data posiblemente desde fines del Mioceno o Plioceno y consistió de la erupción de lavas de basalto alcalino.

Su origen parece relacionarse al sistema de falla marginal de la depresión Cayman. Además, ha sido descubierto recientemente un afloramiento submarino de basaltos alcalinos en el Paso Jamaica (Figura 1). La alteración de estas rocas sugiere una edad de fines del cenozoico, similar a las lavas de Low Layton, aunque las primeras demuestran una fuerte semejanza química a los basaltos alcalinos Cuaternarios de Utila (Bay Island) frente a la costa de Honduras.

El volcanismo de tipo alcalino está frecuentemente asociado con sistemas de fisura y fallas graben. Por consiguiente, parece razonable relacionar el volcanismo de fines Cenozoico-Cuaternario de Jamaica, de Bay Islands, y posiblemente la Isla Hispaniola (Lake Enriquillo graben) a la formación, aún activa, de Cayman y los sistemas de fallas asociados.

MAPA INDICE

FIGURA 1



Portland Ridge 1 pozo

Vertientes termales

Low Layton y afloramientos de lava del Pasaje de Jamaica (Plioceno-Cuaternario)

Granodiorito - Cretácea Superior

Rocas sedimentarias y volcánicas no diferenciadas Cretácea

0 5 10 20 30 40 Kilómetros

## 2.2 Principales Características Tectónicas

La característica estructural más sobresaliente de la isla es el alineamiento ESE-ONO de bloques levantados del basamento pre-Terciario (Blue Mountains, Asomo Central). Esta característica tiene por límite al sur un sistema de falla de importancia regional, probablemente activo desde épocas Terciarias tempranas que indicaron movimiento de tipo desplazamiento horizontal y normal. Este sistema incluye las fallas Río Minho-Crawle River, Cavalier y, la de más importancia, Plantain Garden, y queda aproximadamente paralela a la parte norte de la costa de Jamaica de fallas controladas (Figura 1).

Un segundo sistema de fallas principales es el sistema Montpelier-Newmarket-Santa Cruz que se inclina hacia NO-SE y que controla la geología de la punta occidental de la Isla. La intersección de estos dos sistemas de fallas principales posiblemente sea dado por el levantamiento del afloramiento del basamento del Asomo Hanover.

Los datos gravimétricos disponibles indican una serie de altos que se inclina hacia ONO-ESE; los dos altos principales corresponden al Bloque de Blue Mountains y al Asomo de Hanover. La gravimetría confirma además la importancia de la Falla de Plantain Garden y sugiere la presencia de una falla normal principal derribada hacia el norte a lo largo de la costa nororiental de la Isla.

## 2.3 Consideraciones Geotérmicas

Del estudio de las principales características geológicas de Jamaica, se pueden hacer las siguientes consideraciones geotérmicas:

- 2.3.1 No hay evidencia geológica clara que indique la posible existencia de una fuente principal de calor a poca profundidad dentro de la corteza de Jamaica.
- 2.3.2 La anomalía termal relacionada con la evolución Cretácica del arco de la isla, que alguna vez fue importante, actualmente se considera extinta. Por lo tanto, todo volcanismo pre-Terciario y actividad ígnea quedan excluidos de interés geotérmico.

2.3.3 La única característica geológica que podría tener importancia geotérmica es el sistema principal de fallas relacionado con el margen meridional de la depresión Cayman. Esta característica geológica regional va desde la costa del norte de Honduras a la costa del norte de Jamaica y posiblemente se relaciona además al graben Lago Enriquillo-Port-au-Prince en la Isla Hispaniola. Las lavas de basalto alcalino relacionadas con este sistema de fallas son conocidas en el norte de Jamaica (Plioceno), en el Jamaica Passage (Plioceno) y las Bay Islands (Cuaternario). Estas lavas indican la posibilidad de que una fuente de calor de poca profundidad (en la forma de intrusivos recientes atrapados a lo largo del sistema de fallas) pudiera existir a lo largo de la falla de la frontera del sistema de la depresión Cayman.

En tierra, la falla de Plantain Garden y todo el bloque de los Blue Mountains están relacionados tectónicamente al sistema de fallas de la depresión Cayman. El afloramiento de lava del Jamaica Passage está situado a lo largo de la extensión frente a la costa de la falla de Plantain Garden.

La lava de Low Layton aflora en el lindero norte del bloque de Blue Mountains y está situada a lo largo de las fallas principales que controlan la costa de este sector. Por consiguiente, desde el punto de vista puramente geológico, el bloque de Blue Mountains y los relacionados sistemas de falla parecen ser la única área de posible interés geotérmico en Jamaica.

### 3. LAS AREAS TERMALES DE JAMAICA

Las vertientes cálidas conocidas de Jamaica pueden ser divididas en una base geográfica, en dos grupos:

- I. Las vertientes de Bath of St. Thomas, Guava River y Johnson River, que ocurren todas a los márgenes o dentro del bloque de Blue Mountains.
- II. Las vertientes de Salt River y Milk River que afloran a lo largo de la parte céntrica de la costa meridional de la isla.

Estos dos grupos muestran diferencias importantes en las fluctuaciones de temperatura y de su composición química. En realidad, el segundo grupo de vertientes (33°C) está altamente contaminado por el agua del mar (TDS 27.000 mgrms por litro), mientras el primer grupo no lo está (TDS aproximadamente 500 mgrms por litro). Además, mientras las vertientes del primer grupo no varían en composición y temperatura con variaciones en precipitación, las vertientes del segundo grupo están altamente afectadas por variaciones en el nivel del agua freática (TDS baja a 14.000 mgrms por litro después de una fuerte lluvia). Finalmente, el segundo grupo muestra alta radioactividad característica.

Así, los dos grupos de vertientes cálidas probablemente tienen un diferente "significado" geotérmico y serán tratados por separado.

#### 3.1 El Area Termal de Blue Mountains

##### 3.1.1 Area de Bath of St. Thomas

La vertiente termal en Bath of St. Thomas ocurre en la orilla del Sulphur River cerca del pueblo de Bath. Las vertientes vienen de fisuras en una serie de tufos y aglomerados que yacen sobre una secuencia de lavas basálticas y sedimentos volcanoclásticos. Toda la secuencia está altamente fallada debido a la proximidad del área al sistema principal de la falla Plantain Garden.

Las principales características de esta vertiente son:

Temperatura	=	52-55°C
Flujo total	=	26 US galones por minuto
TDS	=	568 mgms por litro (máximo reportado)
pH	=	7.4 - 7.8
Gases	=	Olor de H <sub>2</sub> S en el sitio de la vertiente

El área se caracteriza por una alta precipitación, y el contacto de esquisto de lava en el sitio de la vertiente parece ser un horizonte de recarga de agua freática. Un hueco de poca profundidad perforado en el sitio de la vertiente mostró un reverso en la distribución de la temperatura. Esto era de esperarse en áreas próximas a brotes de fluidos calientes de acuíferos más profundos.

### 3.1.2 Las Vertientes del Río Guava

Estas vertientes están situadas en la parte céntrica del bloque de Blue Mountains y surgen a lo largo del cauce del Río Guava. En esta parte, el mismo curso del río parece ser de fallas controladas, pero no se ha reportado ninguna evidencia directa de una falla. Las vertientes surgen al contacto entre una masa de roca intrusiva (tonalita) y una sección volcánica-sedimentaria. El sitio mismo de la vertiente caliente está señalado por un afloramiento cuarzo-porfiro, mostrando rastros de actividad hidrotérmica anterior (piritó, venas de calcito y alteración).

Chorros de agua caliente surgen de las dos fisuras que cruzan el cauce del río y de afloramientos sobre el nivel del agua. Se han reconocido siete vertientes diferentes. Las principales características físicas y químicas de estas vertientes son:

Temperatura	=	22-52°C
Flujo total	=	15-20 litros por minuto (máximo)
TDS	=	684 mgrs/litros (máximo)
pH	=	7.2 - 7.7

La composición química indica, como en el caso de las vertientes de Bath, un alto contenido de sodio, sulfato y calcio.

Es importante indicar que las propiedades principales, y sobretodo la temperatura de estas aguas, no están afectadas por lluvias fuertes como lo demuestran las medidas tomadas tanto inmediatamente antes, como poco después del Huracán Hilda en 1973. Desde un punto de vista hidrológico, el afloramiento de tonalito debería representar una buena área de recarga de agua freática, ya que se podría esperar que sea altamente fracturado. La comparación de las vertientes termales con vertientes normales frías y muestras de drenaje del área indican una diferencia importante entre los dos grupos; al contrario, existe una semejanza entre las vertientes termales del área del Guava y la vertiente termal de Bath.

### 3.1.3 Otras Vertientes Termales del Area de Blue Mountains

Un número de otras vertientes termales ha sido reportado por literatura más antigua. Estas son:

- La Vertiente de Golden Valley
- La Vertiente del Río Corn Misk
- La Vertiente del Río Johnson
- La Vertiente de Gardbrand Hall
- La Vertiente del Río Banana

Su ubicación exacta es incierta y no existen datos disponibles sobre sus características físicas y químicas. La morfología muy irregular de los Blue Mountains ha desanimado, hasta ahora, los esfuerzos por visitar y describir estas vertientes. Sin embargo, su presencia es una indicación importante de que las vertientes cálidas están esparcidas a través del bloque de Blue Mountains, lo cual es una característica bastante particular del área.

#### 3.1.4 Implicaciones Geotérmicas

De la información disponible sobre las vertientes termales del área de Blue Mountains, es posible señalar los siguientes hechos que pueden ayudar a comprender el modelo geotérmico del área.

- a) Vertientes calientes ocurren a través del bloque de Blue Mountains, no sólo a lo largo de fallas principales (tales como la vertiente de Bath) pero también en asociación con fallas aparentemente menores dentro del bloque.
- b) La química de las aguas termales, su temperatura y el grado de flujo no son afectados por la precipitación y por la fluctuación del área freática. La química de las aguas freáticas y de las de drenaje de superficie es bastante diferente de aquella de las vertientes calientes.
- c) Las temperaturas constantes son importantes a pesar de la fuerte precipitación del área y de la presencia de áreas de recarga de agua freática cerca del sitio de la vertiente.

Es posible asumir que la descarga de las vertientes representa brotes de agua caliente de acuíferos más profundos y más calientes a lo largo de fallas y/o barreras de permeabilidad. Un poco de enfriamiento debería realizarse en la superficie cercana debido a la mezcla de aguas calientes

con aguas freáticas superficiales frías. Este tipo de proceso hidrológico aparentemente se realiza a través del área de Blue Mountains. Esto indica la presencia de una anomalía termal regional posiblemente relacionada a intrusiones recientes (Véase sección sobre geología).

Muchas preguntas quedan por contestar para poder llegar a una evaluación final del potencial geotérmico del área. Estas se relacionan a las condiciones tectónicas y estratigráficas (presencia de reservorios y de formaciones de cobertura impermeable), y a la definición de condiciones de presión-temperatura en la profundidad. En realidad, la ausencia de una formación de cobertura efectiva y extensa, que pudiera ser el caso en el área de Blue Mountains, podría excluir la presencia de un sistema geotérmico explotable.

### 3.2 El Area Termal de la Costa Meridional

El Baño del Río Milk y la vertiente del Río Salt ocurren en la parte central meridional de la Isla, cerca de la costa, dentro de una formación de caliza de edad Miocena menor; el autor no dispone de más detalles en cuanto a la geología de esta ocurrencia. Sus principales características son las siguientes:

Temperatura	=	33-31°C
Grado de Flujo	=	300-800 US galones por minuto (después de una fuerte lluvia, el grado de flujo aumentó, por un período corto, a 2.000 galones por minuto).
TDS	=	27.000 mgrms por litro (bajando a 14.000 después de fuerte lluvia).
Composición Química	=	Muestra fuerte contaminación de agua de mar; dilución ocurre después de las lluvias.

Radioactividad = Alta radioactividad relacionada con el gas Radón.

Ha sido reportado un alto magnético correspondiente al sitio de la vertiente. Un pozo perforado para verificar la presencia de un basamento somero alcanzó una profundidad de 350 metros y todavía estaba en la misma formación caliza. Desafortunadamente, no se dispone de datos adicionales sobre este pozo ni del pozo Portland Ridge N° 1 mucho más profundo perforado en la misma área.

### 3.2.1 Implicaciones Geotérmicas

De los datos dispersos disponibles, sobre este grupo de vertientes, las siguientes características sugieren un posible interés geotérmico en esta área:

- a) La composición química y el hecho de que tanto el grado de flujo y la química están fuertemente afectados por la precipitación, indican el origen superficial de gran parte de estas aguas. Por otro lado, su temperatura, al compararla con el alto grado de flujo de estas vertientes, sugiere la presencia de un procesamiento anómalo de calentamiento, posiblemente en la forma de gases y fluidos más calientes que ascienden a través de fracturas desde acuíferos más profundos que calientan las aguas superficiales.
- b) La presencia de una anomalía magnética somera y la configuración de la anomalía de gravedad Bouguer en esta área también sugieren la presencia de un cuerpo intrusivo y/o de un basamento alto.

Está claro que los datos disponibles no permiten llegar a conclusiones sobre el verdadero potencial geotérmico de esta área, pero es suficiente para recomendar investigaciones adicionales y más detalladas.

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

##### 4.1 El Area de Blue Mountain

Consideraciones geológicas e hidrogeológicas indican que el bloque de Blue Mountain es el área principal de interés geotérmico de Jamaica.

La evidencia actual recomienda que la exploración geotérmica comience con la etapa preliminar a bajo costo con el objeto de definir si se justifican esfuerzos exploratorios más completos y costosos.

El programa recomendado para la fase preliminar es el siguiente:

##### 4.1.1 Geología

Se debe recoger la documentación disponible, y en caso necesario, datos adicionales, para poder definir las relaciones principales estructurales y estratigráficas en el área. Se debe poner mayor énfasis en la definición de horizontes impermeables que pudieran representar una cobertura efectiva de los posibles reservorios geotérmicos.

Si fuera posible, se debería obtener una muestra fresca de la lava de Low Layton para determinar la edad radiométrica.

##### 4.1.2 Hidrogeología y Geoquímica

Se deberá llevar a cabo un programa completo de exploración geoquímica (tal como se describe en el documento metodológico de OLADE) en un área piloto lo suficientemente grande, hasta de 100 Km<sup>2</sup>, que incluye una o más ocurrencias de vertientes calientes. Se debe dar énfasis a la manifestación de filtración, estudios de anomalía y a la geotermometría.

Es esencial contar con este estudio de reconocimiento, junto con un inventario más completo y una descripción de manifestaciones termales en toda

el área, para definir el modelo hidrogeológico del área y verificar la posible presencia de un sistema profundo geotermal.

La duración de la fase preliminar no debe pasar de 6 a 8 meses.

Los requisitos de personal incluyen 1 geólogo y 1 hidrogeólogo, y se debe contar también con las instalaciones de laboratorio. La interpretación final de los resultados geológicos y geoquímicos requerirá de personal con experiencia en exploración geotermal y geoquímica.

En caso de ser positivos los trabajos de exploración geoquímica descritos, se programarían las actividades exploratorias posteriores.

#### 4.2 El Area de la Costa Meridional

Dada la débil evidencia de las posibilidades geotérmicas, la exploración en esta área deberá limitarse a la fase inicial de investigaciones preliminares de bajo costo.

El programa tentativo siguiente tiene por objeto recoger evidencia suficiente para determinar si se justifican estudios adicionales más intensivos.

4.2.1 Recolección y evaluación de toda la información disponible.

4.2.2 Este programa debe enfocar las siguientes áreas:

a) Geología

La documentación geológica existente debe ser suficiente como para definir la estratigrafía del área y poder delinear los posibles reservorios y las formaciones de cobertura y, finalmente, para determinar las condiciones estructurales geológicas de la ocurrencia de la vertiente.

b) Geofísica

Una reinterpretación de los datos gravimétricos y magnéticos existentes puede ayudar a definir, de la mejor manera posible, la existencia de un cuerpo intrusivo a profundidades relativamente someras (menos de 6 a 10 Km). También se deben tomar en cuenta otros datos geofísicos disponibles (por ejemplo, sísmicos frente a la costa o en tierra).

c) Datos subterráneos

Se debe recopilar los datos relacionados con el pozo de 350 metros perforado en el sitio de la vertiente. Todas las medidas de temperatura y/o muestras de agua o información hidrogeológicas relacionadas con este pozo pueden ser de importancia para la comprensión del origen de las fuentes de calor. Además, una reexaminación completa de los resultados del pozo Portland Ridge N°1 (profundidad total = 2.262 m) debería proporcionar evidencia decisiva para la evaluación geotérmica del área. Desafortunadamente, el autor no tiene a su disposición estos datos.

En el caso en que los estudios de la Fase 1 no sean suficientes para poner en claro las posibilidades geotérmicas del área, las investigaciones descritas en la Fase 2 deberían llevarse a cabo.

4.2.3. Estudio hidrogeológico y geoquímico

Se debe estudiar, desde el punto de vista hidrogeológico y geoquímico, un área lo suficientemente extensa alrededor de las manifestaciones termales (Véase la Metodología de Exploración Propuesta por OLADE).

Los resultados de este trabajo ayudarán a comprender el origen de las vertientes calientes, por ejemplo, si éstas son aguas freáticas calentadas

por brotes de fluidos más profundos, calentados a un grado sumamente alto o por procesos exotérmicos químicos, o si las vertientes calientes presentan fluidos que surgen a través de fallas de horizontes relativamente profundos dentro de un ambiente de gradiente geotérmico normal.

El programa arriba resumido podría llevarse a cabo en un corto tiempo (3-4 meses) y a un costo relativamente bajo; esto permitirá al Jefe del proyecto definir:

- la existencia de verdaderas posibilidades geotérmicas; y
- el programa detallado de subsiguientes investigaciones (por ejemplo, más geología e hidrogeoquímica, geofísica).

5. ESTUDIO DE RECONOCIMIENTO - CALCULOS DE COSTO Y TIEMPO

5.1 Geología y Vulcanología Regionales

<u>PERSONAL</u>	<u>TIEMPO</u>	<u>COSTOS US\$</u>
1 vulcanólogo (experto)	2 meses trabajo de campo 6.000.00 c/mes	12.000.00
1 geólogo regional (experto)	2 meses trabajo de oficina 6.000.00 c/mes	12.000.00
Además, costo de análisis (rocas) aproximadamente, y		1.500.00
Gastos de viaje		<u>6.000.00</u>
COSTO TOTAL GEOLOGIA Y VULCANOLOGIA		US\$ 31.500.00

5.2 Hidrogeología y Geoquímica<sup>(\*)</sup>

1 hidrogeólogo (local) capacitado para realizar muestras de agua geoquímica	6 meses (trabajo de campo y oficina)
1 ayudante de campo	1 mes (trabajo de campo)
1 geoquímico experto	3 meses (procesamiento, interpretación y verificaciones analíticas de computadora)
1 instalación de laboratorio donde se puedan realizar análisis de aguas, a un costo de \$50.00 a \$ 100.00 cada uno	

NOTA (\*): Tomando en cuenta 2 áreas pilotos de 100 Km<sup>2</sup> cada una.

personal local	US\$10.000.00 + US\$5.000.00 para entrenamiento en técnicas de muestreo y compra de equipo
personal experto	US\$ 33.000.00 (incluyendo computadora y corrección) + US\$5.000.00 para gastos de viaje.
trabajo analítico	US\$ 5.000.00
COSTO TOTAL HIDROGEOLOGIA Y GEOQUIMICA	US\$ 58.000.00

5.3 Estudio Geológico del Area de Blue Mountains

<u>PERSONAL</u>	<u>TIEMPO</u>	<u>COSTOS US\$</u>
1 geólogo (local)	2 meses (trabajo de campo y oficina) +	6.000.00
Gastos de viaje		<u>1.000.00</u>
TOTAL ESTUDIO GEOLOGICO		US\$ 7.000.00
<u>TOTAL PARA FASE RECONOCIMIENTO EN JAMAICA</u>		<u>US\$ 96.500.00</u>

20-27

MEXICO

EL CAMPO GEOTERMICO DE CERRO PRIETO  
(ESTUDIOS REALIZADOS Y PROGRAMAS FUTUROS)

AUTORES:

Ings. A. Mañón  
A. De la Peña  
I. Puente

Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto  
Comisión Federal de Electricidad

/ \* GEOTERMIA /  
/ AMERICA LATINA /  
/ EVALUACION TECNICA /  
/ PROYECCION / SE  
/ MEXICO /  
/ CERRO PRIETO /

CONTENIDO:

1. INTRODUCCION
  2. ESTUDIOS GEOFISICOS, GEOQUIMICOS Y GEOLOGICOS
  3. GEOLOGIA, ESTRUCTURAS Y COMPORTAMIENTO  
HIDROLOGICO
  4. PROGRAMA DE EXPLORACION, ESTUDIOS Y OBRAS  
DE AMPLIACION
  5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- ANEXOS

EL CAMPO GEOTERMICO DE CERRO PRIETO - ESTUDIOS  
REALIZADOS Y PROGRAMAS FUTUROS

1. INTRODUCCION

1.1 Objetivo del Presente Trabajo

El incremento de los precios de combustibles fósiles en los últimos años, ha originado que se dediquen mayores esfuerzos a utilizar fuentes alternas de energía.

En el caso de México, la Planta Geotérmica de Cerro Prieto, con capacidad de 75.000 KW, ha estado en operación ininterrumpida durante cinco años, con factores de operación que se han incrementado gradualmente desde 63% en 1973 hasta 90% en 1977. Lo anterior, aunado al respectivo ahorro de combustible que representa (un millón de barriles anualmente), ha permitido a la Comisión Federal de Electricidad, previos estudios del potencial del campo, decidir incrementar la capacidad de generación geotérmica hasta 290 MW en los próximos cinco años.

Este trabajo, preparado con bastante premura, intenta dar a conocer los estudios realizados y resultados obtenidos, sin presentar detalles técnicos exhaustivos, pero sí ideas generales, con el fin de que sirvan de guía informativa a quienes deseen utilizarlos.

1.2 Resumen Histórico

Los primeros esfuerzos encaminados al aprovechamiento de la energía geotérmica en el Valle de Mexicali se iniciaron en 1959, con levantamientos geológicos y fotogeológicos superficiales. Ese mismo año, y hasta 1961, se perforaron los pozos 1A, 2 y 2A, con profundidades de 523, 755 y 402 m respectivamente, resultando productor el

primero de ellos, aunque con entalpías tan bajas y características químicas del agua tales que no lo hicieron utilizable; los otros dos pozos no resultaron productores.

De 1962 a 1963 se llevó a cabo un estudio sismológico casi simultáneamente con un levantamiento gravimétrico -- (1963), de cuyos resultados (1964), se decidió la perforación de 4 pozos exploratorios profundos, 3 de los cuales resultaron productores (M-3, M-5 y M-6) y uno estéril (M-4). El pozo M-5, se considera el pozo descubridor del área actual en explotación. Durante 1965 se elaboraron planos de isotermas a base de 50 pozos someros. Ese mismo año se inició, para terminarlo en 1966, el estudio geoquímico del área, utilizando los manantiales de agua caliente y fumarolas.

De 1966 a 1968 se procedió a la construcción de 15 pozos para suministrar vapor a la primera planta geotermoeléctrica, cuya capacidad de 75 MW se determinó una vez evaluada la producción del campo.

De 1968 a 1970 se llevó a cabo un primer estudio geohidrológico utilizando análisis de isótopos estables de oxígeno, carbón e hidrógeno.

De 1969 a 1970 se efectuaron las pruebas de producción de vapor de los 15 pozos y en 1970 se inició la construcción de la planta. Finalmente, en abril de 1973, inició su operación comercial.

En 1971 se llevó a cabo un levantamiento aeromagnético regional y en 1972 se inició el primer levantamiento geoelectrico, en el Valle de Mexicali.

De 1972 a 1977 se perforaron 9 pozos para substituir a 7 que por problemas mecánicos hubo que cancelar, cuatro pozos exploratorios profundos (1.600-3.000 m) y nueve más para abastecer de vapor a una segunda planta de 75.000 KW (Unidades 3 y 4).

Durante 1977 se inició un estudio de sismica pasiva, utilizando siete estaciones localizadas estratégicamente para definir la actividad sísmica, su relación con el Campo Geotérmico de Cerro Prieto y la localización de planos activos de fallas. Durante este mismo año se iniciaron los levantamientos geoelectricos, gravimétricos y magnetométricos en las áreas de Tulicheck y Cerro Prieto, las cuales

se continúan hasta la fecha, cubriendo un área total aproximada de 620 Km<sup>2</sup>.

En la Tabla 1 se indica la relación de pozos perforados hasta la fecha en el Campo Geotérmico de Cerro Prieto, así como sus profundidades.

## 2. ESTUDIOS GEOFISICOS, GEOQUIMICOS Y GEOLOGICOS

### 2.1 Sísmica de Refracción

Estudios de sísmica de refracción fueron realizados por las compañías GEOCA (1962) y SEISA (1963), consistiendo en 9 perfiles de 10 a 12 Km de longitud. El trabajo se realizó situando tres puntos de tiro, distantes entre sí 5 Km. Cada perfil estuvo constituido de 20 a 25 estaciones, espaciadas de 400 a 500 m entre sí. Los pozos de tiro tuvieron profundidades entre 3 y 25 m, utilizando cargas de dinamita (60%) de 3 a 150 Kg. En las gráficas de tiempo se observaron tramos de alta velocidad (5.500 a 6.000 m/seg), que se interpretaron como el basamento granítico. Los tramos con velocidades de 3.700 a 4.400 m/seg se interpretaron como sedimentos consolidados (lutitas y areniscas) y las velocidades de 1.700 a 2.500 m/seg. se atribuyeron a los sedimentos no consolidados (arcillas, arenas y gravas).

En la Figura 4 se muestra la localización de las líneas del estudio sísmico, y en la 5-A la interpretación de dicho estudio en una de las líneas.

### 2.2 Gravimetría

Durante 1963 se llevó a cabo (CRNNR) un levantamiento gravimétrico, consistente de 340 observaciones efectuadas en 18 líneas separadas entre sí por 2 Km. Para la interpretación de este estudio, se utilizaron valores de densidad de 2.3 gr/cm<sup>3</sup> para el basamento cristalino (granito), 2.5 gr/cm<sup>3</sup> para los derrames volcánicos y 2.2 gr/cm<sup>3</sup> para los aluviones. Combinando la gravimetría con las mediciones sismológicas, se adquirió un conocimiento más acertado sobre la forma y estructura de basamento y su relación con los sedimentos que lo superyacen. Antes de efectuar este estudio, Kovack, R.L y Allen, C.R. (1962), efectuaron levantamientos sísmicos y gravimétricos en la región del Delta del Río Colorado, incluyendo los Valles de Imperial y Mexicali. En dicho estudio, en el perfil C-C (este - oeste) (Figura 6) que está ligado en su extremo oeste al granito de la Sierra Cucapah, se observa un significativo gradiente gravimétrico en la zona de la falla de Cerro Prieto.

Como se dijo antes, en 1977 se iniciaron medidas de gravedad, por la Brigada de Geofísica del Eje Neovolcánico (Razo y otros), con el fin de disponer de información más detallada para el conocimiento estructural del campo. La interpretación preliminar de la línea D-D, se indica en la Figura 5-B. Los valores de las lecturas obtenidas en la línea anterior (Figura 5-B) coinciden en forma general con la línea C-C de Kovack y Allen.

En 1975 (Razo) se efectuaron reinterpretaciones de los trabajos de Kovack y Allen y del efectuado por el Consejo de Recursos Naturales no Renovables en 1963 (Velazco J.J. y Martínez B.J. 1970).

### 2.3 Magnetometría

En julio de 1971 se efectuó un estudio aeromagnético en el Valle de Mexicali, que incluyó el área geotérmica de Cerro Prieto (Evans K.R., Summer Johns S.), habiéndose elaborado como resultado del mismo un mapa aeromagnético residual, cuyos valores originales de campo fueron corregidos por variaciones diurnas. El campo magnético regional fue eliminado utilizando un programa de computación. Las líneas de vuelo estuvieron espaciadas un kilómetro a una elevación barométrica constante de 305 m; en el área geotérmica de Cerro Prieto, el espaciamiento entre vuelos fue de sólo 500 m.

Al mismo tiempo que los levantamientos gravimétricos y geoelectrónicos, se iniciaron en 1977 lecturas de magnetismo en las mismas líneas utilizadas para los otros levantamientos, los cuales están en proceso de interpretación. En la Figura 5-B se muestra el perfil de la línea D-D, en la que se indican los valores de las lecturas magnéticas (campo magnético total en Gammas).

### 2.4 Resistividad

García Durán (C.F.E.) efectuó en 1972 levantamientos geoelectrónicos que cubrieron un área de 1.600 Km<sup>2</sup>, mediante los cuales se detectaron las áreas de baja resistividad. En dicho estudio se utilizaron tres técnicas; la primera para determinar la resistividad aparente con configuración Schlumberger de 4 electrodos colineales, con separación de

1.000 m entre electrodos de corriente  $AB/2 = 500$ ) y de 80 m entre electrodos de potencial  $MN/2 = 40$ ).

En la Figura 7 se muestran los resultados obtenidos en dicho levantamiento.

La segunda técnica empleada consistió en un arreglo "Schlumberger" con separación de electrodos variable entre 20 hasta 4.000 m en cada sondeo. Con esta técnica se cubrió un área de 140 Km<sup>2</sup> en la zona actual de explotación. Por último, se llevó a cabo un estudio cualitativo a mayor profundidad por medio de un arreglo colineal Dipolo-Dipolo, que permitió obtener información geoelectrica de las capas del subsuelo comprendidas entre 1.200 y 2.000 m de profundidad. En este arreglo se empleó una longitud de 2.000 m entre electrodos de corriente y de 1.000 m para el de potencial, con variaciones de distancia entre centros de los dipolos de 2.500 a 4.000 m, cambiándolas cada 250 m.

A partir de 1977 la Brigada de Geofísica del Eje Neovolcánico inició levantamientos geoelectricos que abarcan un área aproximada de 440 Km<sup>2</sup>, utilizando líneas transversales a la dirección de fallas, empleando el método de sondeos eléctricos verticales con el arreglo Schlumberger, máximas distancias  $AB/2 = 4$  Km con estaciones localizadas a intervalos de 1 Km.

En la Figura 5-B se muestra el perfil de iso-resistividad de la línea N° 1.

## 2.5 Sísmica Pasiva

Desde hace más de cuarenta años, sismólogos de la Universidad de California en Berkeley, del Instituto Tecnológico de California en Pasadena y del Instituto de Geofísica y Física Planetaria de la Universidad de California en San Diego, han estado registrando la actividad sísmica en el sur del estado de California (E.U.) y norte de Baja California (México). Ambos grupos han instalado sismógrafos telemeterizados a sus laboratorios.

Durante el período de 1934 a 1967, se registraron más de 7.300 eventos sísmicos con magnitud de 4 o mayor (escala Richter).

A partir de 1969, la Comisión Federal de Electricidad, C.F.E., el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior en Ensenada, B.C., CICESE, han colaborado con los grupos, arriba citados, para instalar y operar estaciones sismológicas en la Península de Baja California incluyendo el Valle de Mexicali (Figura 8).

En 1977 la C.F.E. contrató los servicios del CICESE para efectuar un estudio detallado de microsismicidad en el campo geotérmico de Cerro Prieto y áreas aledañas, para lo cual se instalaron cuatro sismógrafos portátiles (Figura 9). Dos de las estaciones están equipadas con una componente vertical y una componente horizontal, una de ellas orientada perpendicular a las fallas de Cerro Prieto e Imperial. En dicho estudio se utilizará la información de otras estaciones ya existentes anteriormente. En la misma Figura 9, aparecen las localizaciones de los eventos sísmicos ocurridos en esta área desde 1971 hasta 1977, mostrando una gran incidencia sobre la falla de Cerro Prieto, el probable centro de dispersión y la falla Imperial.

## 2.6 Isotermas

En 1961, la C.F.E. efectuó un estudio regional para elaboración de curvas de isotermas, en el Valle de Mexicali (Figura 10). En dicho plano se pueden apreciar los centros de anomalías térmicas que se manifiestan en la superficie y localizadas en el área de Tulicheck, Cerro Prieto y Mesa de Andrade.

En 1965 se construyeron 50 pozos someros + 20 m en la zona de anomalía térmica de Cerro Prieto, con el fin de elaborar las curvas detalladas de Isotermas que auxiliaron al conocimiento del campo.

## 2.7 Geoquímica

Durante 1965 y parte de 1966, se llevó a cabo un estudio geoquímico utilizando los manantiales de agua caliente localizados en el área de Cerro Prieto (Mercado 1968). En las Figuras 11 y 12 se muestra la localización de dichos manantiales y sus temperaturas y en la Tabla 2(\*) se indican las características químicas de las mismas.

---

NOTA (\*): El original se encuentra mutilado y no consta en el presente trabajo.

### 3. GEOLOGIA, ESTRUCTURAS Y COMPORTAMIENTO HIDROLOGICO

#### 3.1 Geología de la República Mexicana

La República Mexicana está formada por rocas ígneas intrusivas, extrusivas, metamórficas y sedimentarias que van desde el precámbrico hasta el reciente (Figura 1).

El oriente mexicano se compone principalmente de rocas sedimentarias tanto marinas como continentales, constituidas principalmente por calizas, lutitas, areniscas y conglomerados.

El occidente mexicano está integrado en gran parte por rocas ígneas extrusivas y en menor proporción por intrusivas y metamórficas y a lo largo de la costa por depósitos sedimentarios recientes (arenas principalmente).

La parte central de la República Mexicana, desde la costa del Pacífico hasta el Golfo de México, está formada por rocas volcánicas producto de un volcanismo intenso ocurrido durante el Cenozoico, a la cual se ha denominado Eje Neovolcánico.

La Península de la Baja California en sus extremos norte y sur está formada principalmente por rocas ígneas intrusivas con algunos afloramientos de rocas metamórficas; y la parte media por rocas volcánicas y depósitos sedimentarios no consolidados.

#### 3.2 Geología del Valle de Mexicali

El Valle de Mexicali está formado, en su parte central, por depósitos deltáicos del Río Colorado, constituidos por arcillas, limos, arenas y gravas y hacia el occidente por depósitos de piedemonte principalmente constituidos por arenas y gravas provenientes de la Sierra de Cucapah (Figura 2).

Estratigráficamente y partiendo de las rocas más antiguas a las más recientes, se puede definir lo siguiente.

El basamento que está representado por rocas ígneas intrusivas y metamórficas constituidas por granitos, gneisses

y esquistos que afloran en la Sierra de Cucapah y Juárez. Estas rocas, en algunos sitios, intrusionan calizas del Cretácico, por lo que se les ha asignado una edad del Cretácico Superior.

Descansando directa y discordantemente sobre estas rocas, tenemos una alternancia de lutitas y areniscas de aproximadamente 2.000 m de espesor. Sobreyaciendo a estos últimos se encuentran depósitos sedimentarios no consolidados constituidos por arcillas, limos, arenas y gravas que van desde la superficie hasta profundidades de 2.500 m (Figura 3).

Próximo al campo geotérmico, se tienen cubriendo en parte a los sedimentos no consolidados, rocas andesíticas del volcán de Cerro Prieto.

El campo geotérmico de Cerro Prieto se localiza aproximadamente a 25 Km al sur de la ciudad de Mexicali, a poca distancia del volcán de Cerro Prieto.

En la Figura 2 se muestra una columna estratigráfica generalizada de la región Delta del Río Colorado (Kovack y Allen 1962).

### 3.3 Estructuras

Tectónicamente, el área de estudio (Valles Imperial y Mexicali) presentan un tectonismo de gran actividad. En la Figura 13 se muestra el modelo propuesto por Lommits, Elders y otros (1972) acerca de los centros de dispersión y su relación con las fallas transformes y la actividad geotérmica. En la Figura 14 se muestra un diagrama esquemático del bloque MW-Se a lo largo de la depresión Saltón-Mexicali (Koeing J.B. 1967). En la Figura 15 se muestra la sección geológica idealizada y una vista parcial del Valle de Mexicali (Soto Pineda 1975). En la Figura 5-A aparece la sección geológica detallada D-D (Puente 1977), basada en datos gravimétricos, sísmicos y de pozos perforados, en la que se muestran las profundidades de las capas sedimentarias que sobreyacen el basamento.

### 3.4 Hidrología

En 1968 la C.F.E., con participación de la S.R.H., contrató

los servicios de la División de Investigaciones del Colegio de Ingeniería de la Universidad del Estado de Washington (E.U.) para llevar a cabo un estudio geohidrológico en el Valle de Mexicali, incluyendo al campo de Cerro Prieto, con el fin de tratar de determinar la fuente o fuentes de recarga de las aguas del subsuelo, los probables volúmenes de recarga, la dirección y velocidad del movimiento y el origen del agua, utilizando técnicas de isótopos estables de carbón, hidrógeno y oxígeno. Aunque el estudio no logró los objetivos en forma completa, confirmó la teoría del origen del agua que abastece al campo geotérmico.

En la Figura 16 se indican las curvas de edades del agua, calculadas con el contenido de carbón 14. En la Figura 17 aparece la configuración de las curvas Delta D<sup>o</sup>/oo y Delta O<sup>18</sup>o/oo. En ambas curvas se deduce que la dirección y origen del agua que recarga al campo geotérmico de Cerro Prieto proviene del Río Colorado.

En un estudio posterior complementario (1976), efectuado por la Oficina de Ingeniería Nuclear dependiente de la Comisión Federal de Electricidad (García y García) se sugiere que existen dos tipos de agua principalmente; el de la Cuenca del Río Colorado que tiene su origen en las montañas Rocallosas y el de la Cuenca del Río Gila, con recarga en las montañas del mismo nombre, no habiéndose detectado agua de mar en ninguno de los pozos muestreados.

#### 4. PROGRAMA DE EXPLORACION, ESTUDIOS Y OBRAS DE AMPLIACION

##### 4.1 Exploración

El programa actual de exploración, que ya ha sido iniciado, está encaminado a estimar la potencialidad de tres áreas de anomalías térmicas y/o resistivas, previamente localizadas: Tulicheck, Cerro Prieto Oeste y Mesa de Andrade, situadas al noroeste, oeste y sureste del Campo de Cerro Prieto, respectivamente. Este programa incluye levantamientos geológicos, fotogeológicos, geoquímicos, geoelectricos, gravimétricos, magnetométricos, potencial natural y en una parte sísmicos. Se contempla además dentro del programa, la perforación de 60 pozos de 100 m de profundidad, distribuidos en las tres áreas mencionadas, para estudio de gradientes. Una vez evidenciadas las probabilidades geotérmicas por métodos geológicos, geoquímicos y geofísicos, se procederá, en caso de requerirse, la perforación de pozos profundos de exploración (3.000 m), para evaluar las características de la formación y confirmar el conocimiento de la estructura geológica, obtenida por métodos indirectos. Se estima tener terminado el presente programa a fines de 1979.

En el caso del área geotérmica de Cerro Prieto, el programa consiste en la perforación de 3 a 4 pozos exploratorios profundos, con el fin de establecer los límites del yacimiento geotérmico y definir la localización de 22 pozos de explotación para una tercera Planta Geotermoelectrica de 110 MW. Dichos pozos exploratorios se deberán perforar durante el presente año, e iniciarse la perforación de los 22 de explotación.

##### 4.2 Estudios

En 1977 se firmó el convenio de cooperación para el estudio del campo geotérmico de Cerro Prieto, entre la Comisión Federal de Electricidad (México) y el Departamento de Energía (antes E.R.D.A.) (E.U.), en el cual incluye diferentes áreas de investigación, agrupadas en cuatro principales: Geología, Geofísica, Geoquímica e Ingeniería de Yacimientos. En este convenio participan científicos de diferentes instituciones. En el caso de México participa personal de la Comisión Federal de Electricidad, Dirección de Estudios del Territorio Nacional, Centro de

Investigaciones Científicas y de Educación Superior e Instituto de Investigaciones Eléctricas; y en el caso de los Estados Unidos participa personal del Departamento de Energía, United States Geological Survey, Lawrence Berkeley Laboratory, University of California Berkeley y University of California Riverside, principalmente.

Los trabajos efectuados durante 1977, bajo este convenio, incluyeron la formación de un banco de información sobre los estudios existentes antes de la firma del convenio. Dicho banco ya ha sido publicado y se encuentra a disposición de la comunidad geotérmica (Ref. 10).

En el aspecto geológico, se continuarán trabajos tendientes a establecer el modelo geológico y geohidrológico del campo, utilizando programas de computación para correlación de registros eléctricos, así como información geológica y geoquímica existente (Ref. 6 y 9).

Este mismo año, se llevó a cabo (U.C.R.) un estudio petrográfico y geoquímico (isótopos estables ligeros) con base en muestras de recortes y núcleos de 6 pozos recientemente perforados en Cerro Prieto (Ref. 11). Es importante hacer mención de la utilidad que mostró dicho estudio, durante la perforación de los pozos, sobre todo en la predicción de temperaturas de las diferentes formaciones, que ayudarán a la mejor terminación de los mismos.

En el área de geoquímica se efectuó una recopilación de gran parte de la información existente, efectuando interpretaciones preliminares y observaciones sobre el comportamiento del yacimiento y los resultados de la exploración geoquímica realizada en 1965 (Ref. 6).

Utilizando potencial natural, se llevó a cabo un levantamiento de 2 líneas de 10 Km que cruzaron el campo actual en explotación, mostrando que los resultados obtenidos reflejan la existencia de las principales fracturas y posiblemente de la actividad geotérmica (Ref. 17).

Para estudiar la magnitud de los movimientos verticales y horizontales, se llevó a cabo una nivelación de primer orden en 160 Km de líneas y un trabajo de trilateración que abarcó un área de 400 Km<sup>2</sup>. Este mismo tipo de investigación se ha estado llevando a cabo en el Valle Imperial y tiene por objetivo diferenciar los movimientos ocasionados por tectonismo de los originados por explotación geotérmica.

En el área de geohidrología, se efectuaron muestreos de fluidos geotérmicos (agua y gases) para análisis químicos e isotópicos.

La Figura 18 muestra el programa tentativo de trabajos para el presente año.

Además se continuará, durante el presente año, el estudio de microsismicidad que lleva a cabo, para C.F.E., el Centro de Investigaciones Científicas y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

#### 4.3 Programa de Obras e Inversiones

De acuerdo con el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE), las instalaciones geotérmicas en Cerro Prieto deberán entrar en servicio de acuerdo con las fechas y capacidad siguientes:

FECHA	UNIDAD	CAPACIDAD
Marzo 1979	3a. C.P.I.	37.5 MW
Mayo 1979	4a. C.P.I.	37.5 MW
Mayo 1982	5a. U.C.P.I.	30.0 MW (baja presión)
Mayo 1983	1a. U.C.P.II.	55.0 MW
Mayo 1984	2a. U.C.P.II.	55.0 MW

Al completar este programa y junto con la capacidad actual instalada, se tendrá una capacidad total de 290 MW de plantas geotérmicas en Cerro Prieto.

Este programa está formulado siguiendo el incremento señalado por la curva de demanda del sistema Mexicali-Tijuana; una vez que se tenga un mejor conocimiento del potencial del campo geotérmico de Cerro Prieto y de los campos localizados sobre las fallas de San Jacinto y Cerro Prieto, se verá la conveniencia de implementar un programa de instalaciones que permitan generar suficiente energía eléctrica, ya sea para exportación o para enviarla al sistema

Sonora-Sinaloa, una vez que el potencial probado justifique la interconexión con dicho sistema.

El principal atractivo para lograr los objetivos del programa es el ahorro de combustible, que al terminarlo (300 MW) será de cuatro millones de barriles por año, con un valor cercano a los mil millones de pesos anuales (aproximadamente 43 millones dólares).

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo del proyecto geotérmico de Cerro Prieto ha estado regido básicamente por el crecimiento de la demanda de energía eléctrica en el sistema Tijuana-Mexicali.

Sin embargo, existe la posibilidad de incrementar su desarrollo si se comprueba un potencial geotérmico mayor. Para tal evaluación del potencial, se requiere utilizar las técnicas de explotación que han mostrado mayor confiabilidad hasta la etapa actual de desarrollo.

Al mismo tiempo, será importante que la secuencia en la que se apliquen obedezca a una metodología de exploración y evaluación óptima desde el punto de vista técnico y económico.

ANEXOS



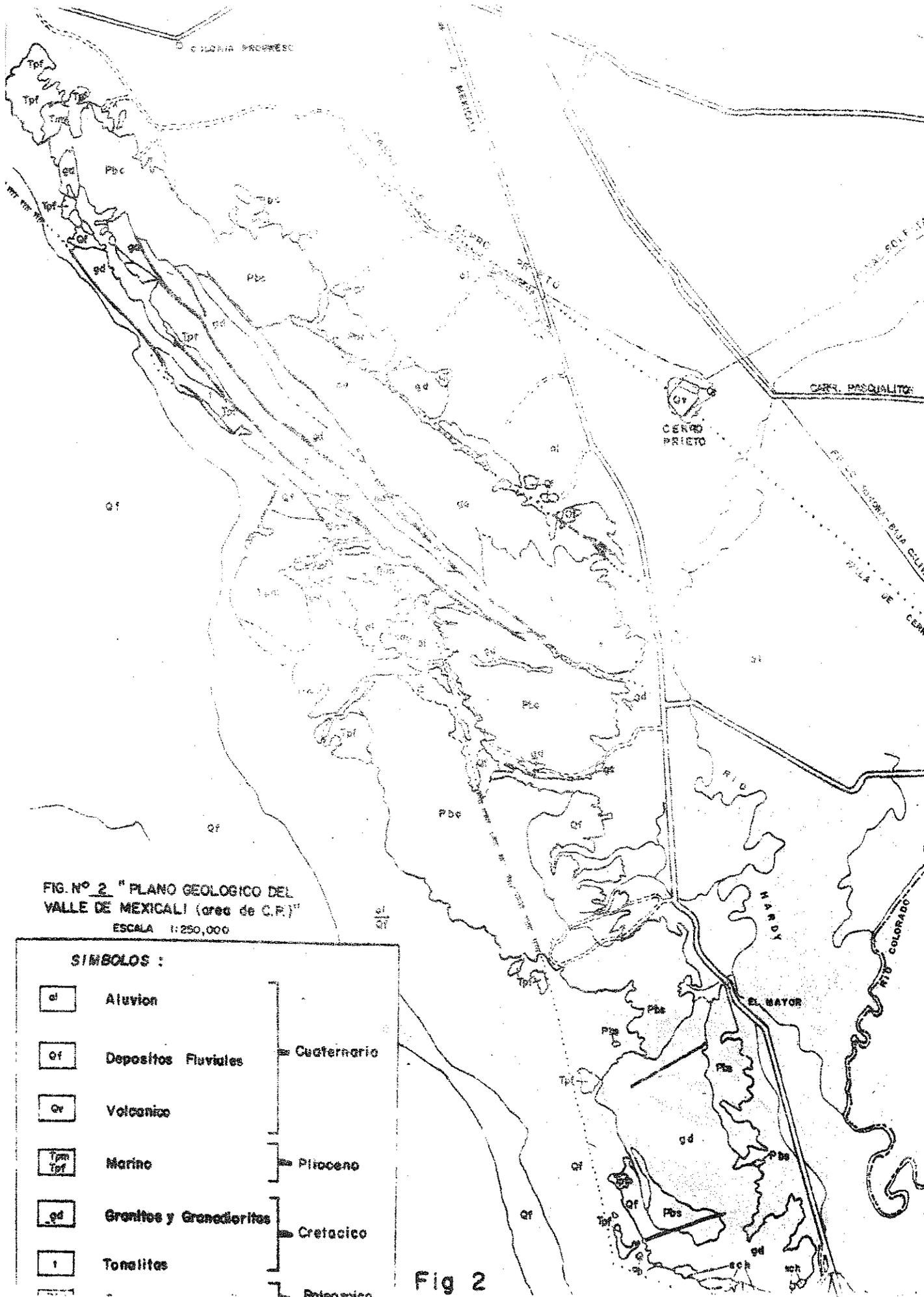


FIG. N° 2 "PLANO GEOLOGICO DEL VALLE DE MEXICALI (area de C.P.)" ESCALA 1:250,000

**SIMBOLOS :**

al	Aluvion	Cuaternario
of	Depositos Fluviales	
qv	Volcanico	
Tpm Tof	Marino	Plioceno
gd	Granites y Granodioritas	Cretacico
i	Tonalites	Preterciario

Fig 2

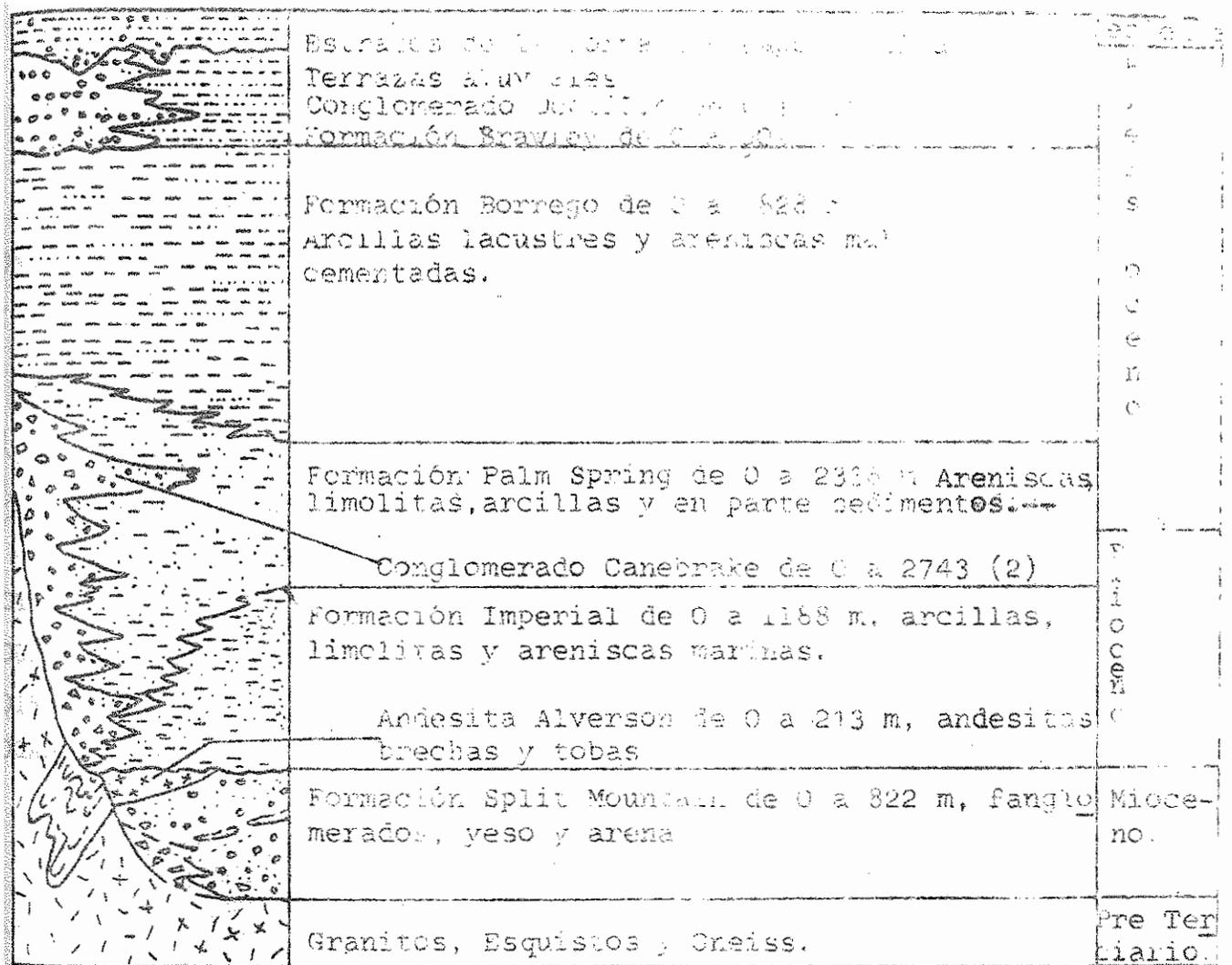
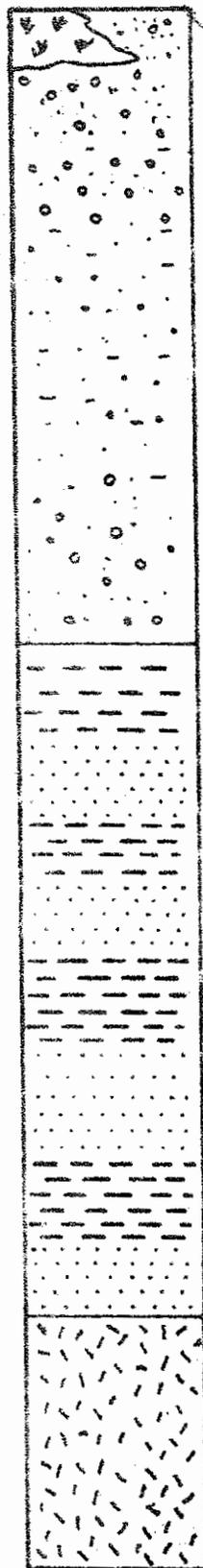


Fig No. 2-a

COLUMNA ESTRATIGRAFICA GENERALIZADA DEL DELTA DEL RIO COLORADO, MODIFICADA POR DIEBLEE(1954)

- Notas: (1).- Areniscas y Arcillas lacustres.  
 (2).- Fanglomerados.

COLUMNA LITOSTRATIGRAFICA DE LA ZONA DE CERRO PRIETO B. C.



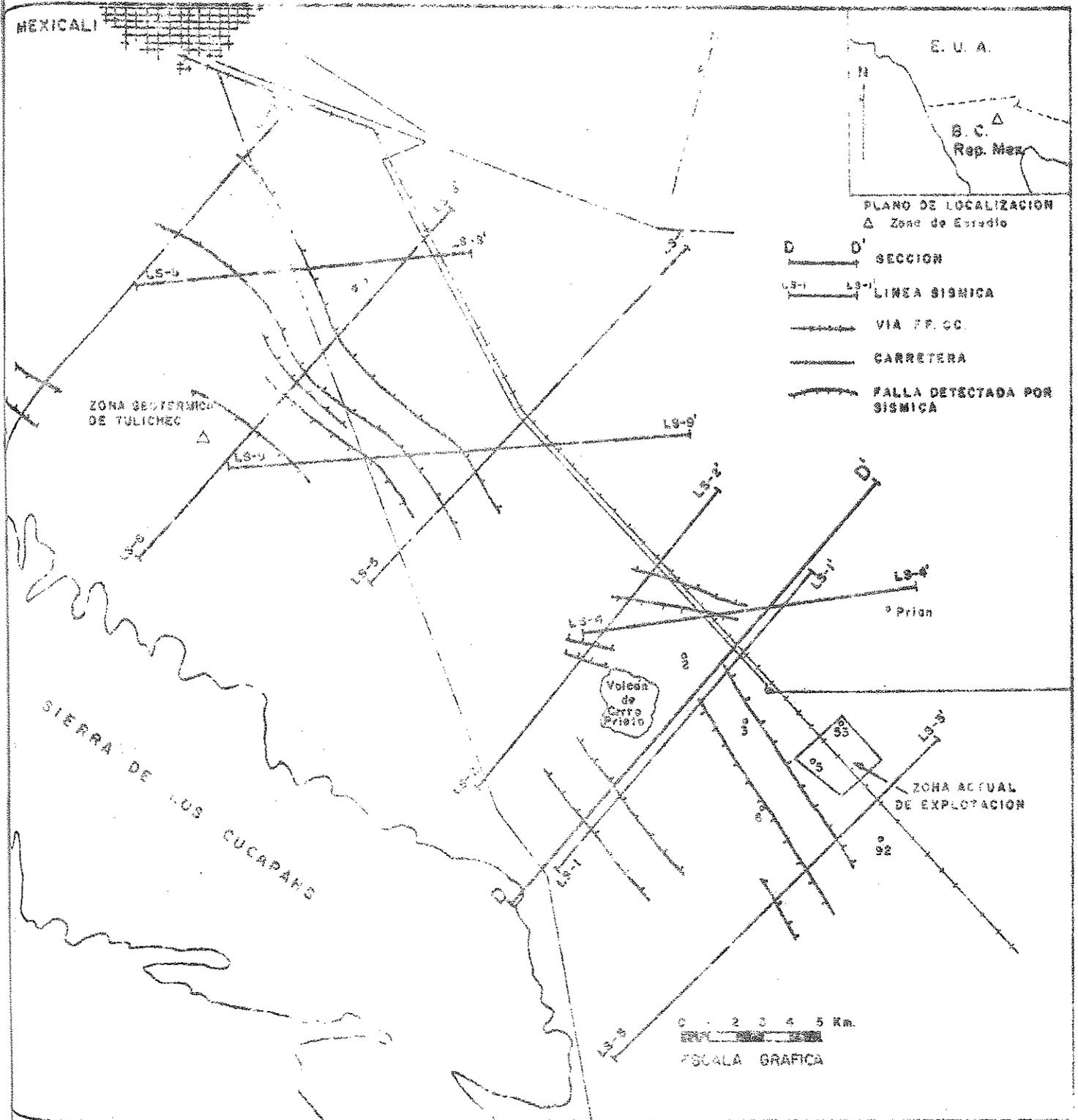
ROCAS ANDÉSITICAS Y MIDDALÍTICAS DEL VOLCAN DE CERRO PRIETO, DEPOSITOS NO CONSOLIDADOS CONSTITUIDOS POR ARCILLAS, ARENAS Y GRAVAS CON ESPESORES DE 300 A 250 M.

LUTITAS CAFE CLARO VARIANDO A PROFUNDIDAD DE GRIS CLARO A GRIS OSCURO -- INTERESTRATIFICADAS CON ARENISCAS GRIS CLARO DE CUARZO Y FELDESPATOS CEMENTADAS CON CARBONATOS Y A PROFUNDIDAD POR SILICE CON ESPESORES DE +- 2000 M.

DEPOSITOS DELTAICOS DEL RIO COLORADO

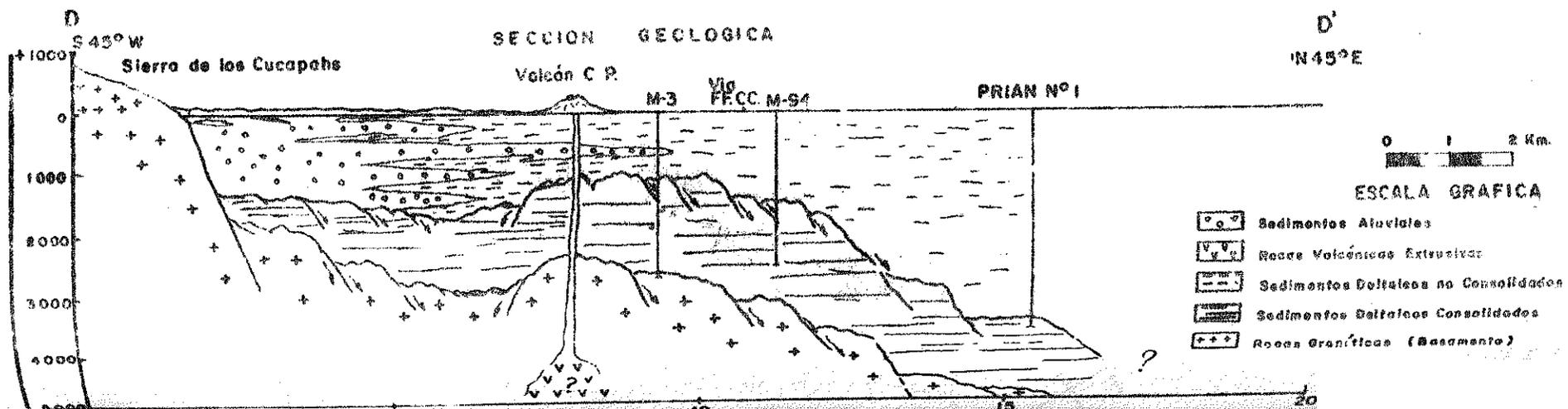
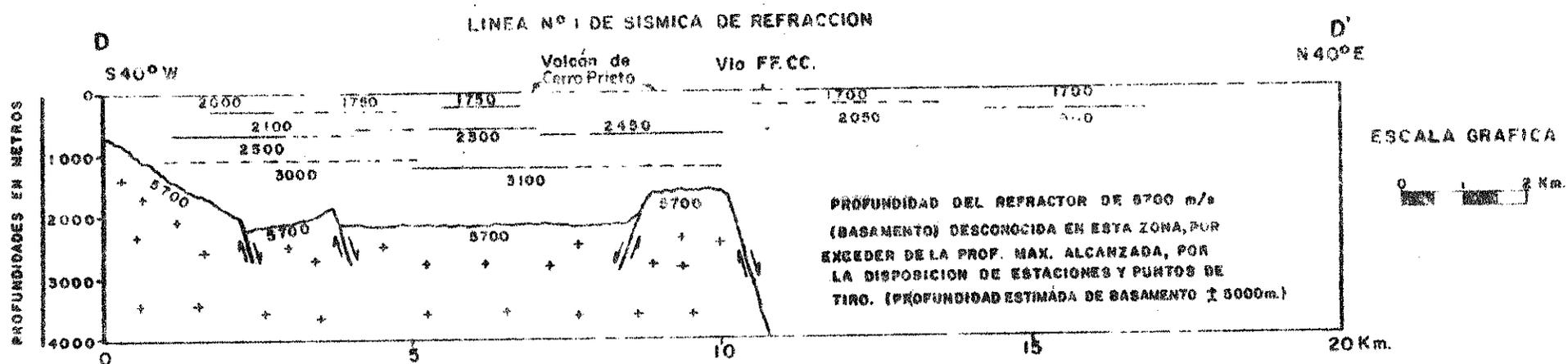
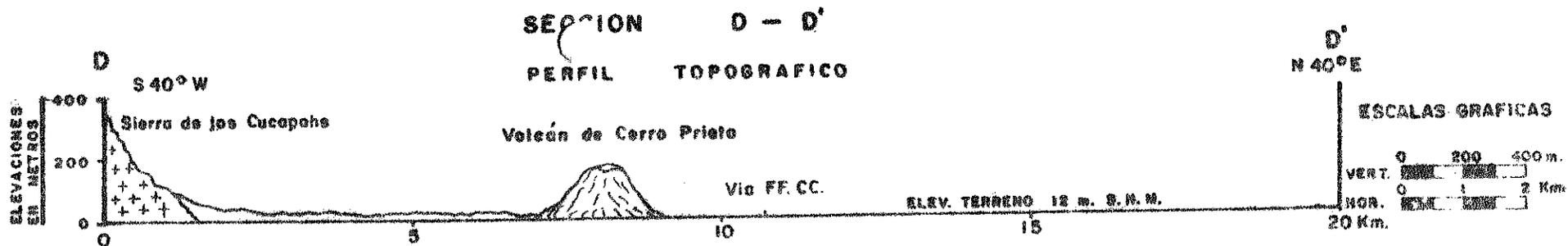
ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS CONSTITUIDAS POR GRANITO, GRANODIORITAS, GNEISSES Y -- ESQUISITOS.

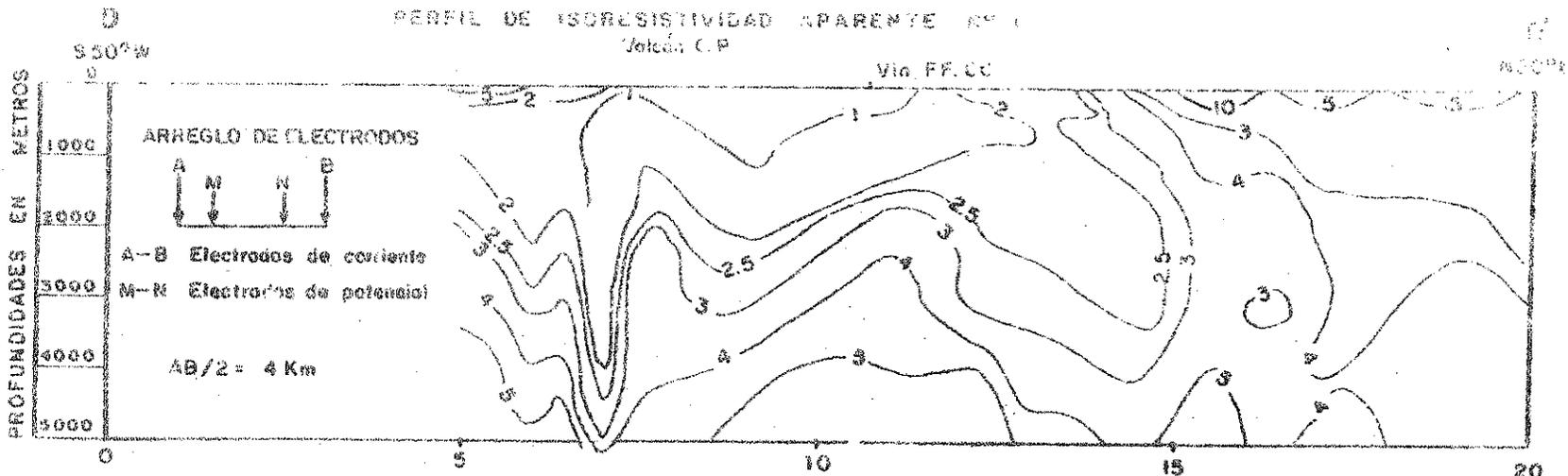
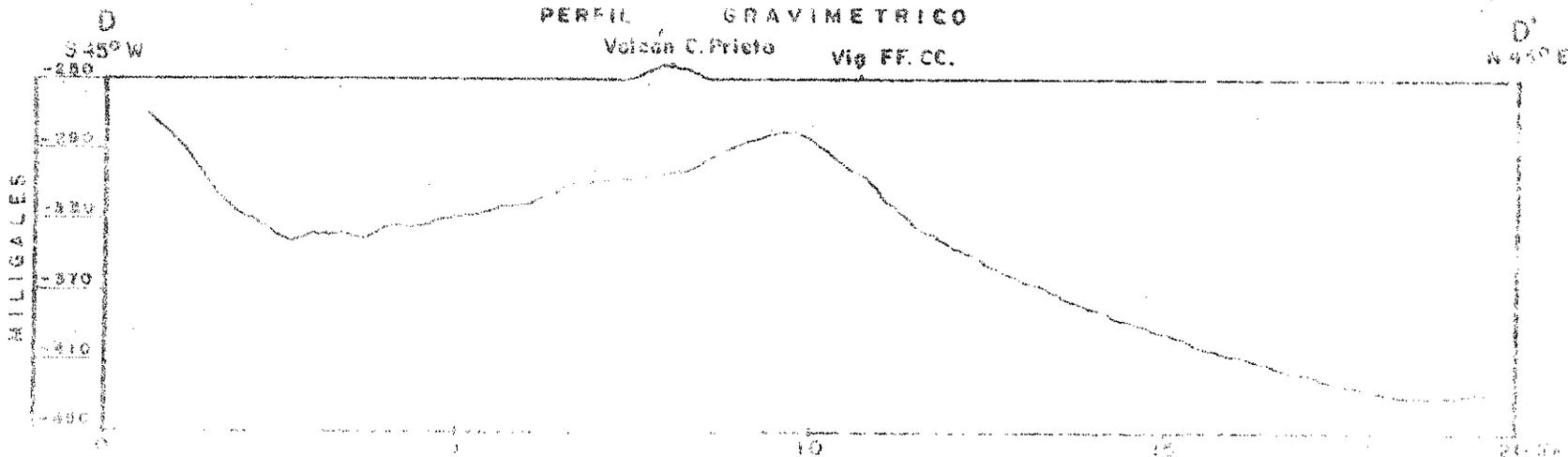
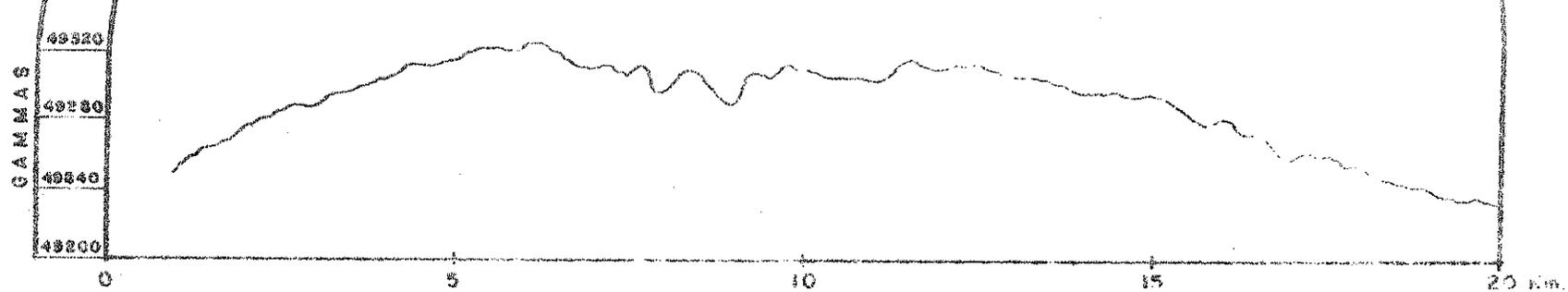
Fig. 3



PLANO DE LOCALIZACION DE LA SECCION D-D' Y LINEAS SISMICAS.

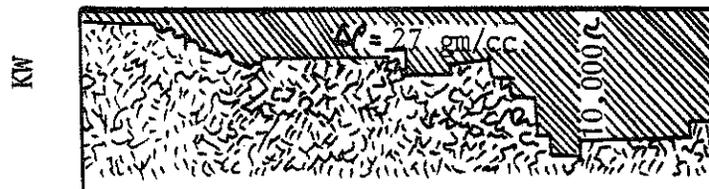
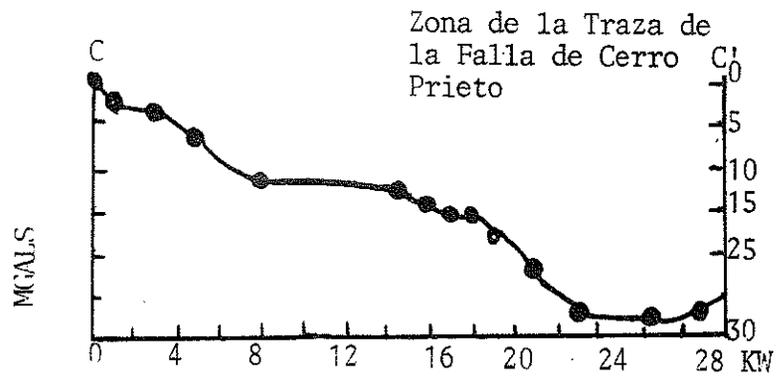
FIG 4





SECCION D - **Fig. 5-B**

PERFIL DE GRAVEDAD LINEA C-C'  
(KOVACK Y ALLEN, 1962)



exageración vertical 2 a 1

FIGURA 6



FIG. N° 7  
 CURVAS DE ISO-RESISTIVIDAD  
 APARENTE EN OHM-METRO  
 (AB/2) = 500 m.

ESCALA : 1:200,000

NOTA : CONFIGURACION REALIZADA POR MEDIO DE MEDICIONES EN PERFIL A PROFUNDIDAD CONSTANTE EMPLEANDO UN DISPOSITIVO SCHLUMBERGER.

Fig. 7

EPICENTROS DE SISMOS OCURRIDOS ENTRE  
ABRIL Y MAYO DE 1942  
(GEOFISICA INTERNACIONAL VOL. 1, N° 2)

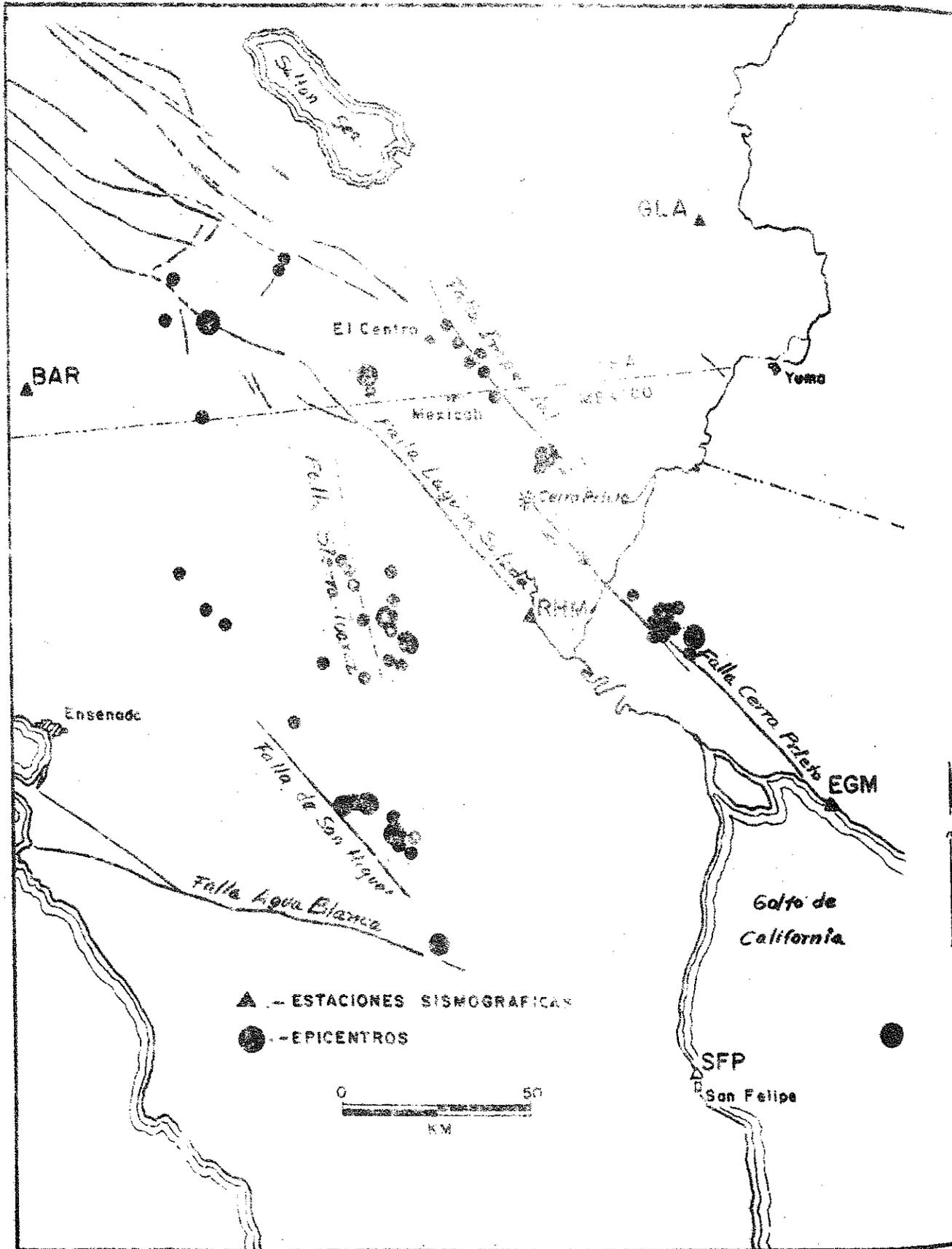


Fig. 8

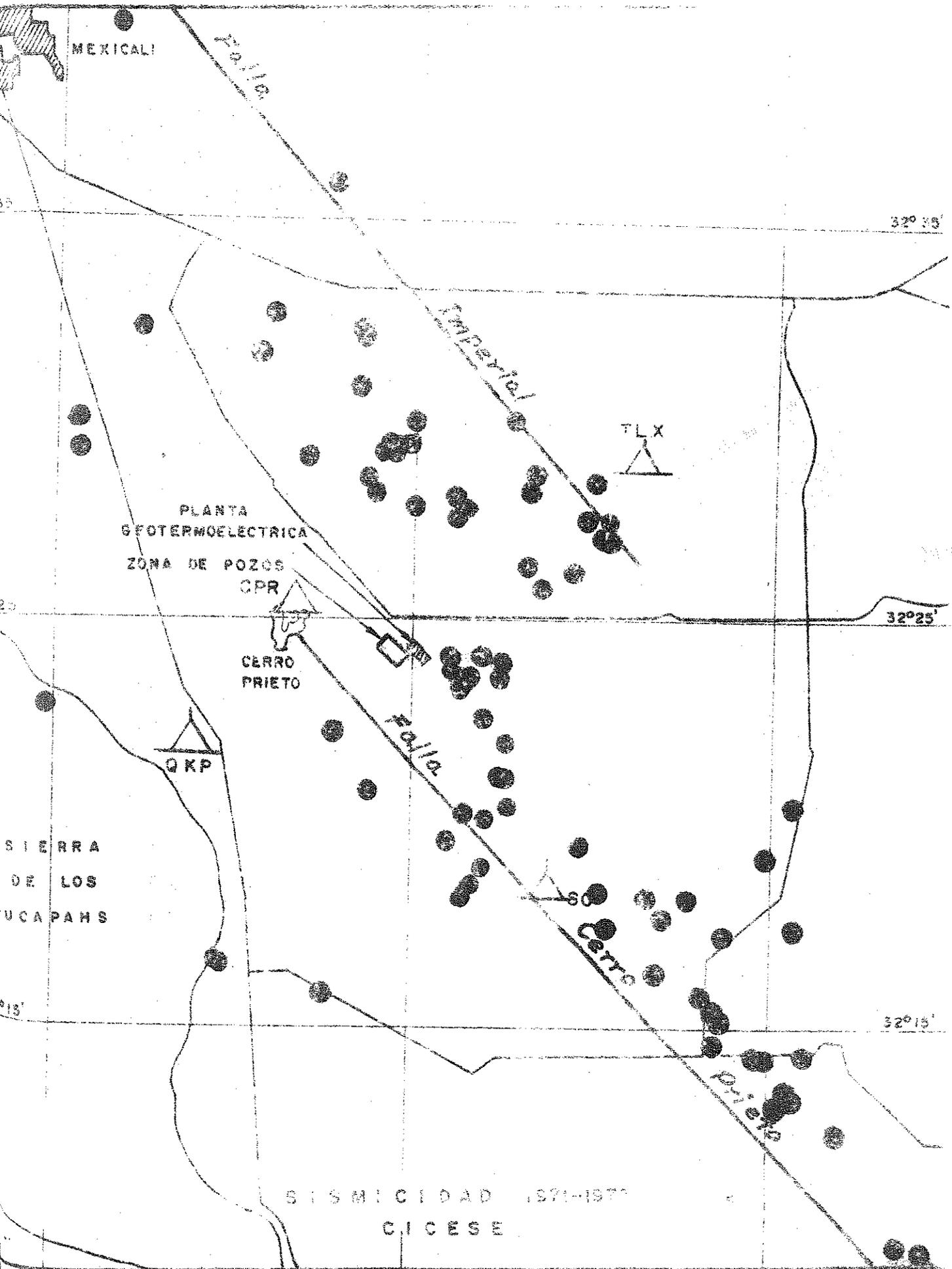
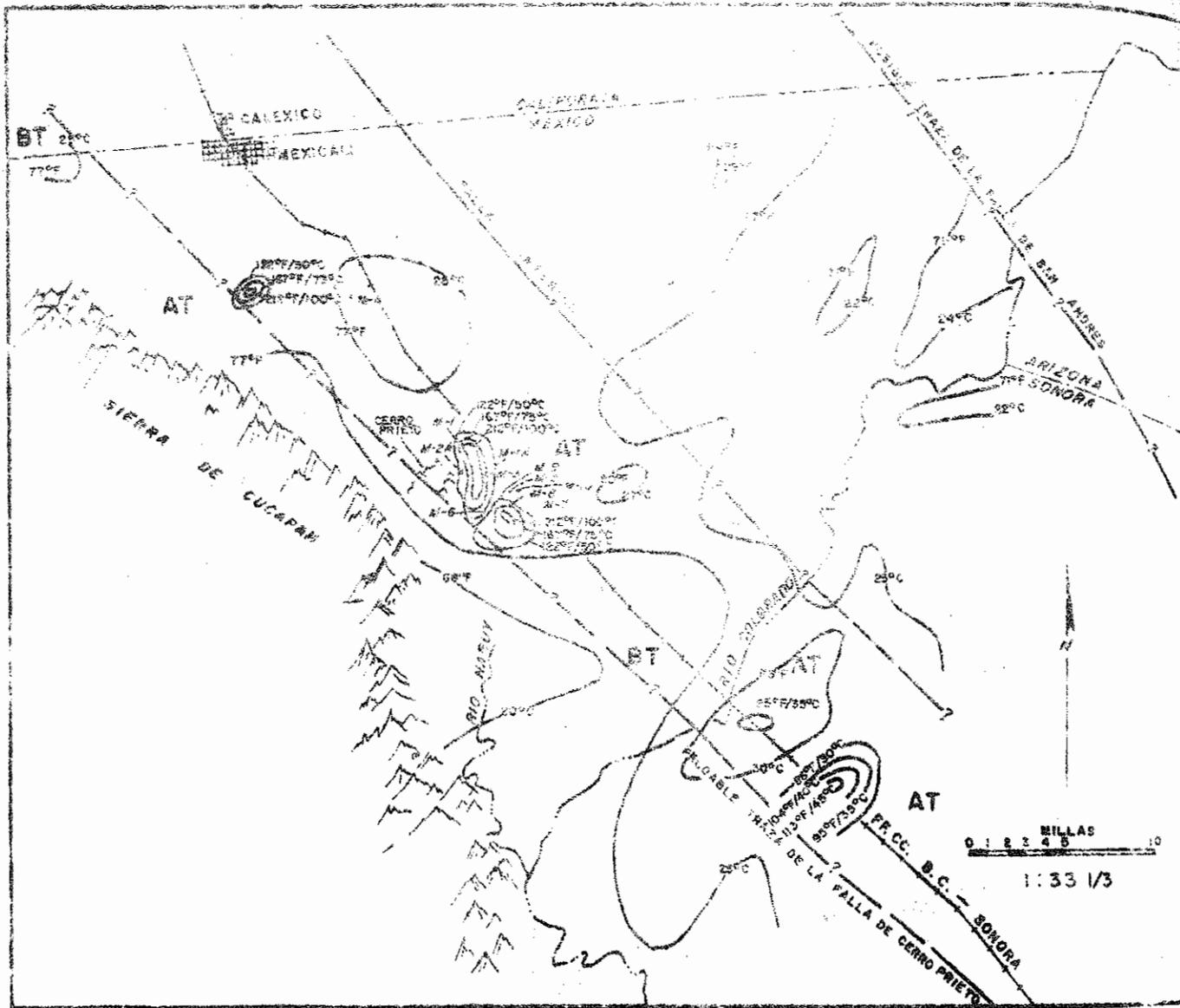


Fig 9



ISOTERMAS DEL VALLE DE MEXICALI B.C.

EXPLICACION

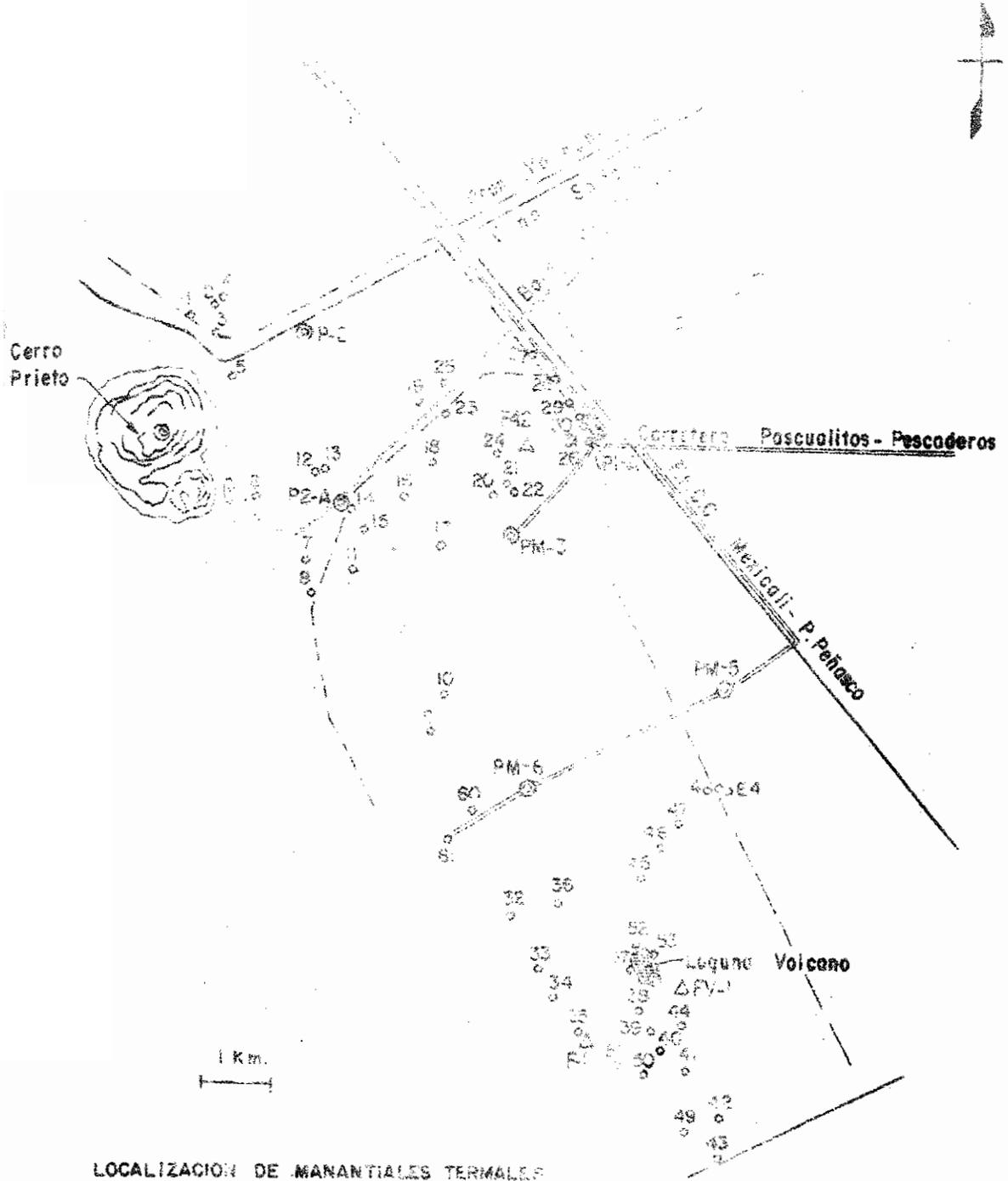
AT ZONAS DE ALTA TEMPERATURA

BT ZONAS DE BAJA TEMPERATURA

M-3 POZO GEOTERMICO

—100°C— CURVAS DE ISOTERMAS EN °F Y °C

Fig. 10



LOCALIZACION DE MANANTIALES TERMALES

- MANANTIAL ○ 37
- FUMAROLA △ FV-1
- POZO ⊙ PM-5

Fig. 11

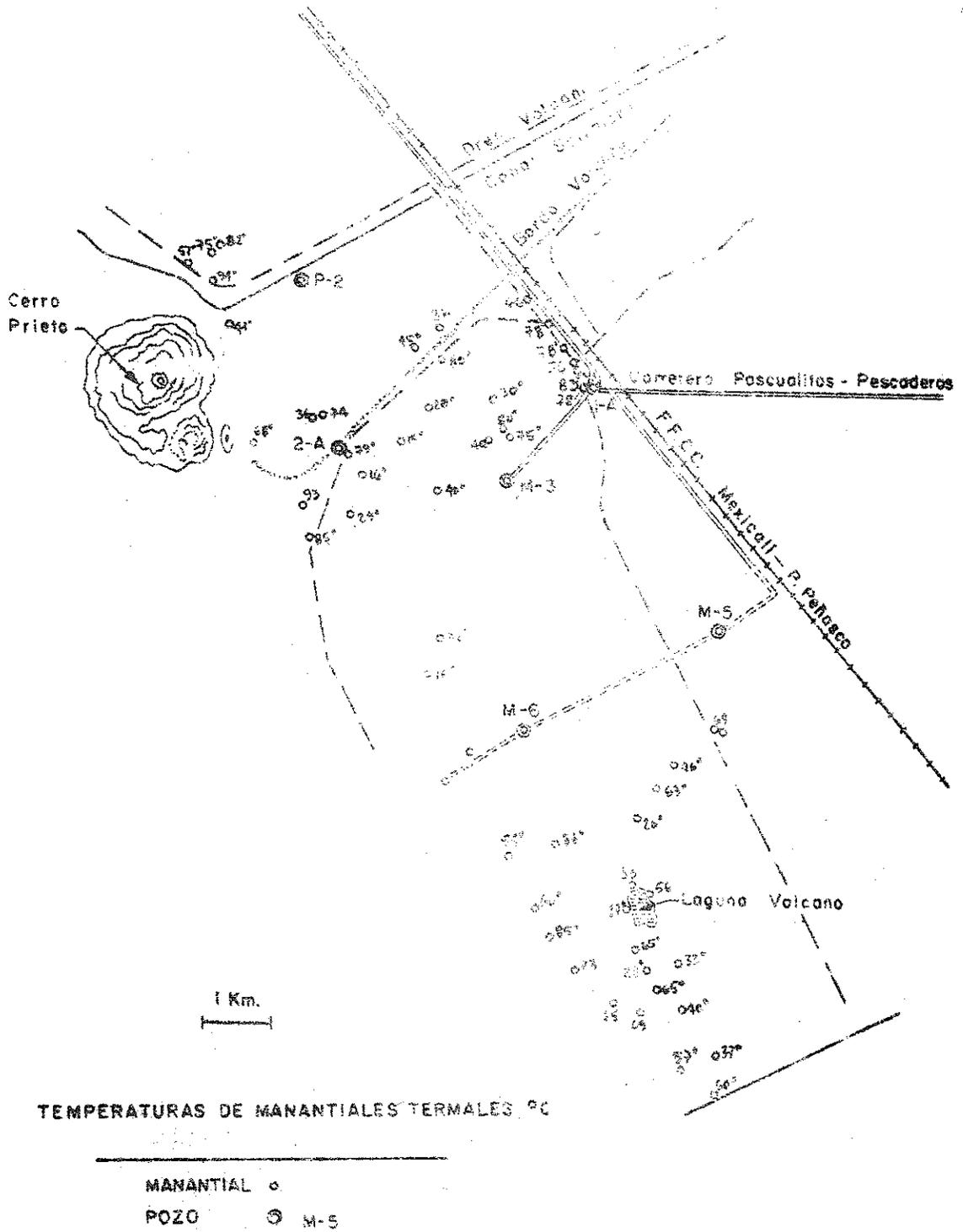
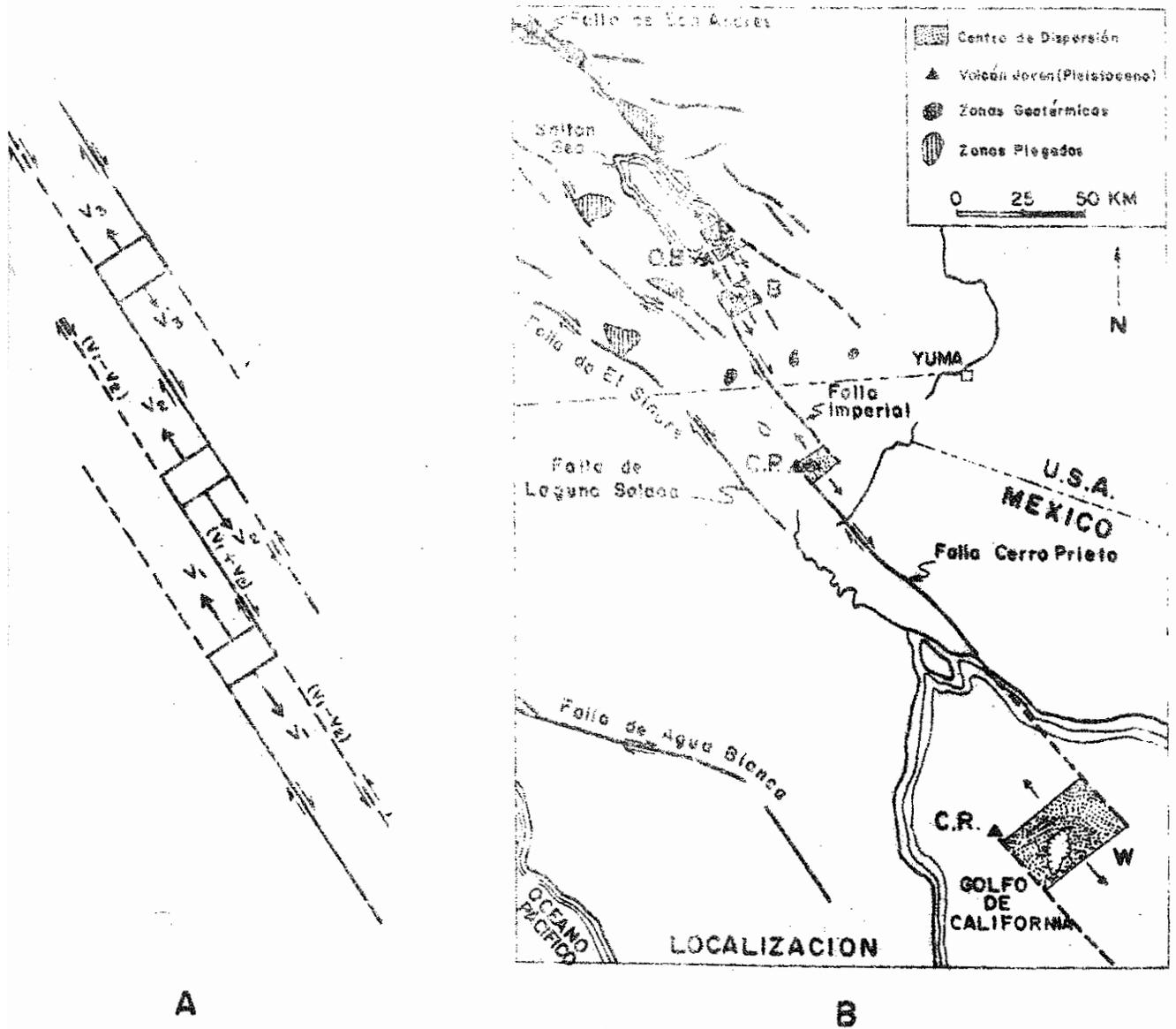


Fig. 12



A.- Modelo de Fallas transformes y Centros de Dispersión propuesto por Lomnitz, W. Eiders y otros (1972)  
B.- Localización de ellas en las Fallas Imperial y Mexicali.

Fig. 13

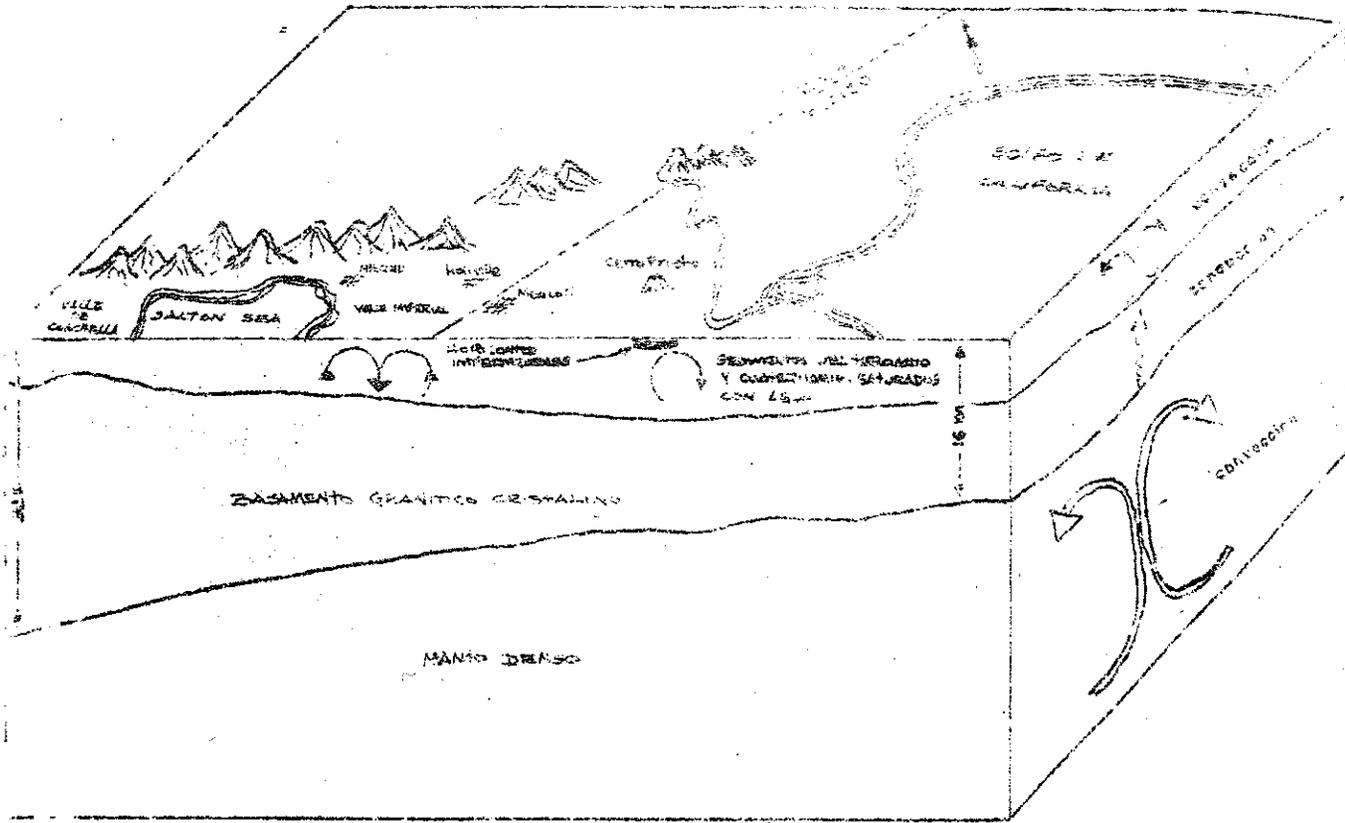
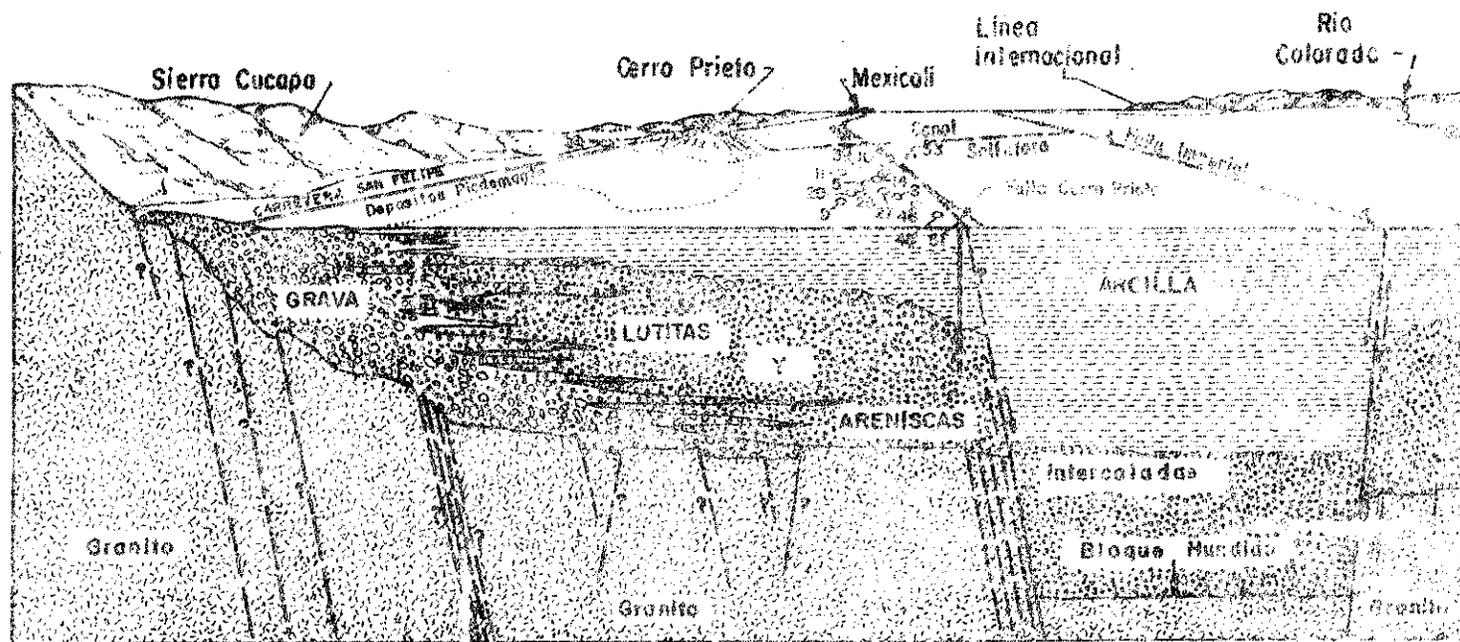


DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL BLOQUE NW-SE DE LA DEPRESION SALTON - MEXICALI (KOERNING J.B. 1967)

## Seccion Geologica y Vista Parcial del Valle de Mexicali, B.C.



Ing. Salvador Soto Pineda  
 DIB: C.H.O.A.

Fig. 15

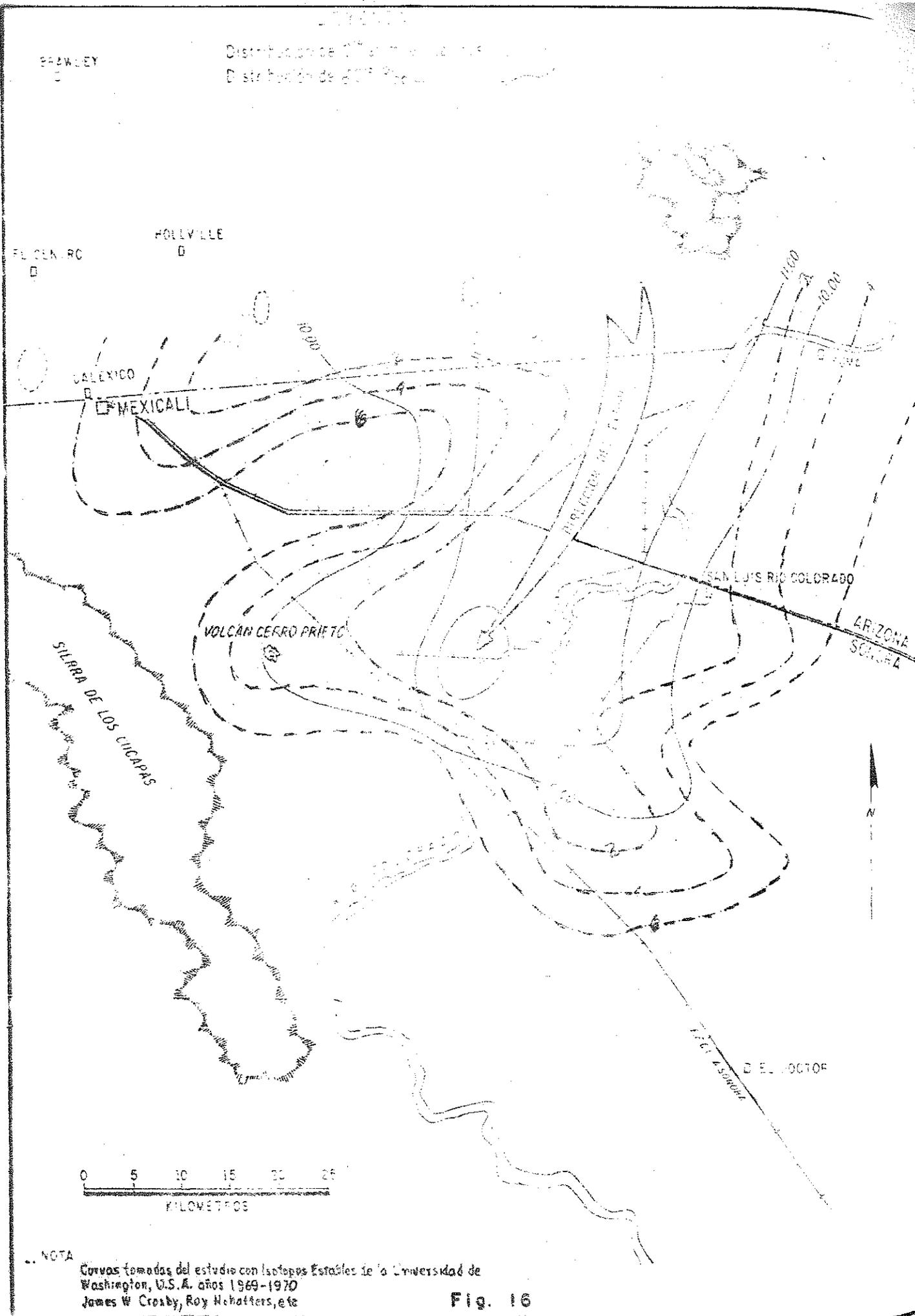


Fig. 16

LEYENDA

Distribución de  $\delta D$  ‰

Distribución de  $\delta O^{18}$  ‰

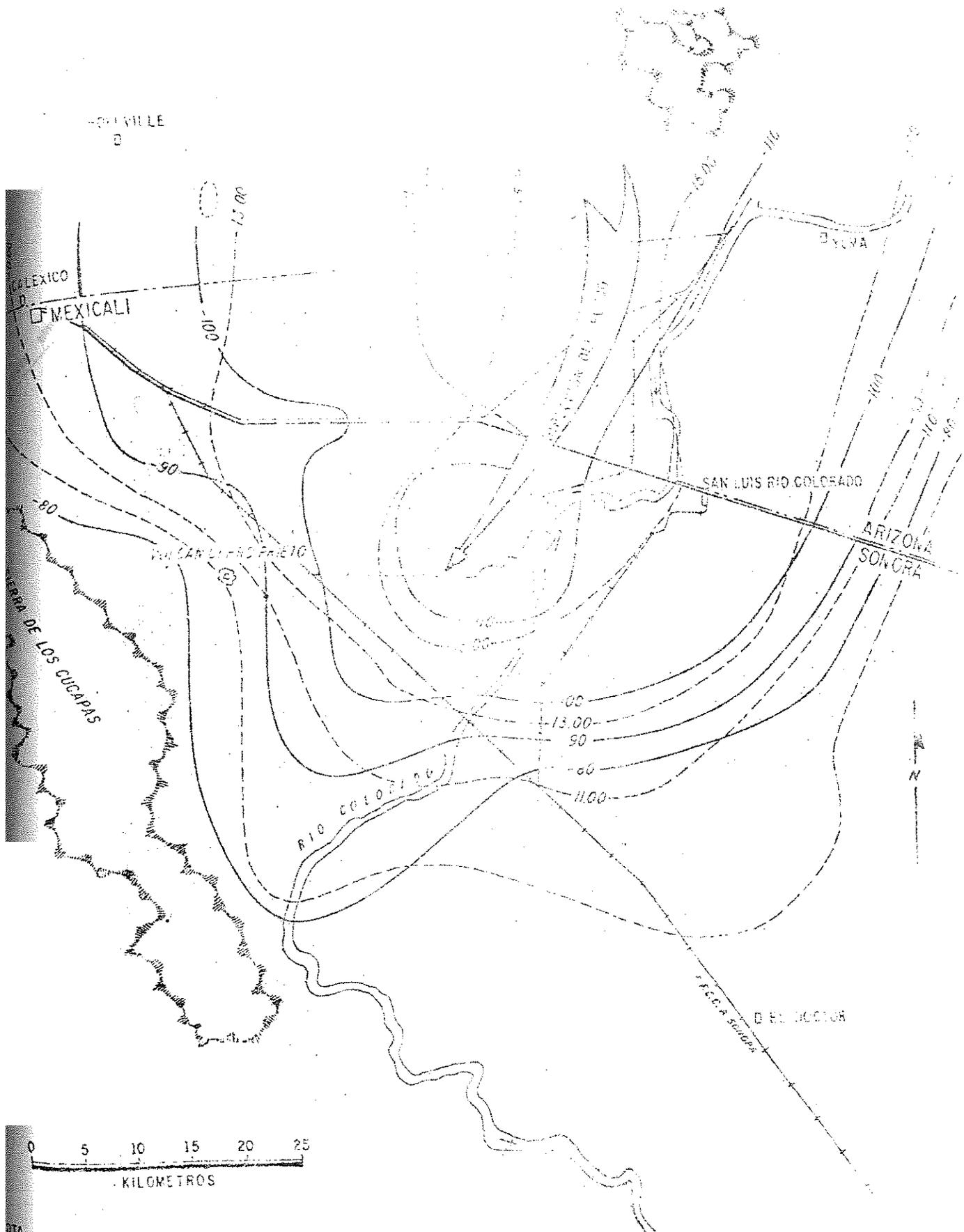
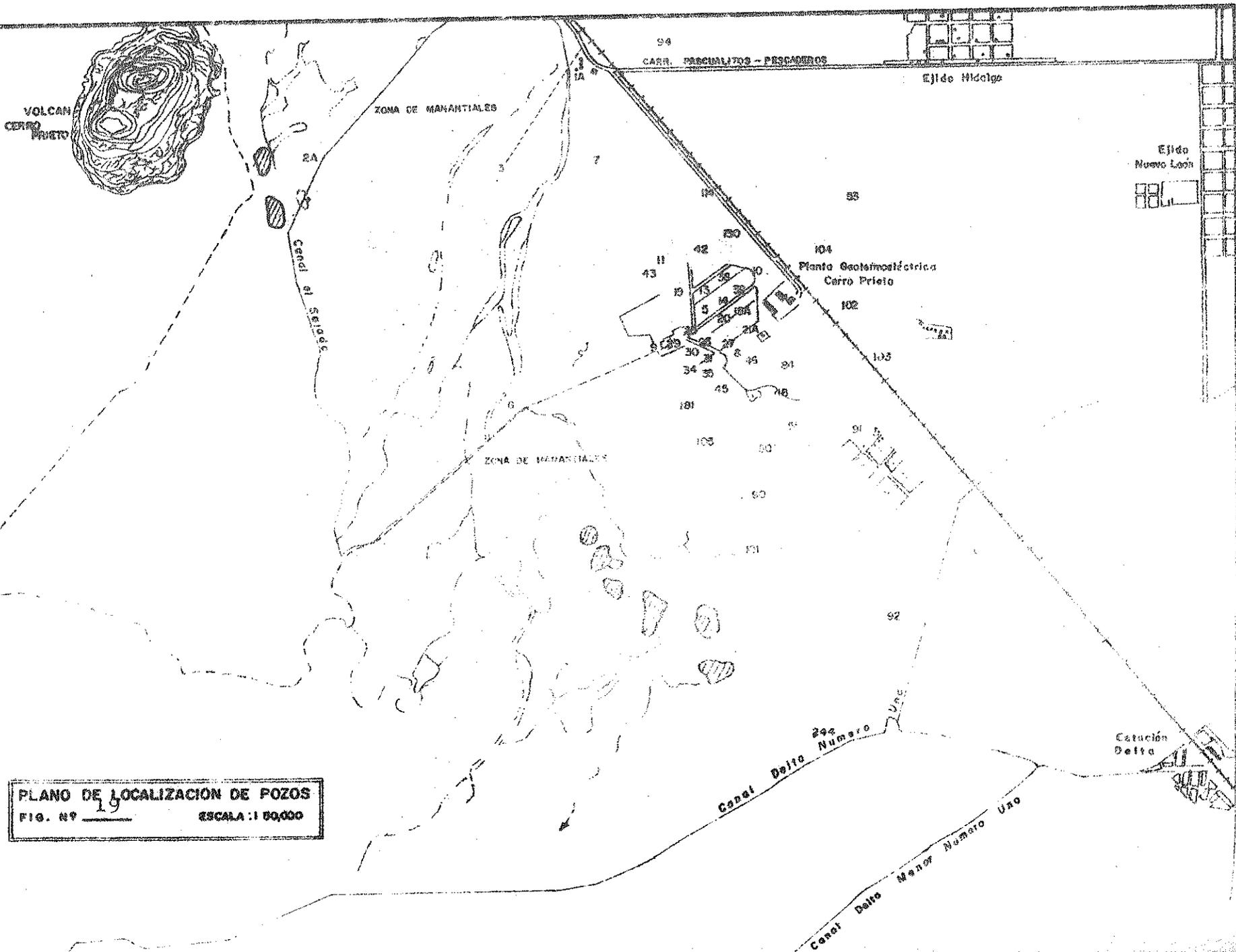


Fig. 17  
 Datos tomados del estudio con tiempos Est. de la Universidad de Washington, U.S.A. años 1969-1970  
 James W. Cowdy, Roy M. Hatters, etc.



PLANO DE LOCALIZACION DE POZOS  
 FIG. Nº 19  
 ESCALA: 1:50,000

TABLA 1

RELACION DE POZOS GEOTERMICOS PERFORADOS EN CERRO  
PRIETO B.C. - MEXICO

POZO	OBJETIVO	PROFUNDIDAD	OBSERVACIONES
M-1A	E	523.53	--
M-2	E	755.00	--
M-2A	E	430.00	--
M-3	E	2.624.34	--
M-4	E	2.006.00	--
M-5	E,X	1.303.00	--
M-6	E	2.047.25	--
M-7	E	1.013.08	--
M-8	X	1.315.00	A,P
M-9	X	1.412.64	A,P
M-10	X	1.449.60	A,C
M-11	X	1.395.64	A,P
M-13	X	1.311.90	A,C
M-14	X	1.296.70	A,P
M-15	X	1.282.60	A,C
M-15A	X	1.264.65	A,P
M-19A	X	1.488.65	A,P
M-20	X	1.485.66	A,P
M-21	X	1.504.64	A,C
M-21A	X	1.300.75	A,P
M-25	X	1.399.65	A,P
M-26	X	1.275.00	A,P
M-27	X	1.296.65	A,P
M-29	X	1.309.84	A,P
M-30	X	1.496.65	A,P
M-31	X	1.222.64	A,P
M-34	X	1.516.70	A,C
M-35	X	1.301.70	A,P
M-38	X	1.494.00	A,C
M-39	X	1.493.64	A,C
M-42	X	1.326.65	A,P
M-45	X	1.396.70	B,P
M-46	X	1.421.94	B,P
M-48	X	1.410.00	B,P

Continúa.....

Continuación Tabla 1.

POZO	OBJETIVO	PROFUNDIDAD	OBSERVACIONES
M-50	X	1.256.49	B,P
M-51	X	1.599.40	B,P
M-52	X	246.94	A,C
M-53	E,X	1.996.69	B,P
M-84	X	1.696.35	B,P
M-90	X	1.385.50	B,P
M-91	X	2.299.42	B,P
M-92	E	2.554.00	--
M-94	E	2.605.17	--
M-96	E	--	--
M-101	X	1.400.00	B,P
M-102	X	2.000.00	B,P
M-103	X	--	B en perf
M-104	X	1.681.00	B,P
M-105	X	1.684.00	B,P
Prian	X	3.496.70	--
244	X	--	--
181	X	--	A,B,R
43	X	--	A,B,R
114	X	--	A,B,R
130	X	--	A,B,R

NOTAS 1: Se tiene pendiente de definir la localización de cuatro pozos exploratorios para 1978.

2: Se tiene programada la perforación de 22 pozos de explotación para suministrar vapor a una tercera Planta Geotermoeléctrica denominada Cerro Prieto II.

SÍMBOLOS EMPLEADOS:

- A Pozos construidos para abastecer a las Unidades 1 y 2 de C.P.I.
- B Pozos construidos para abastecer a las Unidades 3 y 4 de C.P.I.
- C Pozos cancelados por problemas mecánicos en las tuberías
- E Pozos exploratorios
- P Pozos productores
- R Pozos de reemplazo
- X Pozos de explotación

20-28

N I C A R A G U A

DESARROLLO DEL PROYECTO GEOTERMICO MOMOTOMBO

PRESENTADO POR:

Ing. Ariel Zúñiga Mayorga  
Jefe del Proyecto Geotérmico  
Empresa Nacional de Luz y Fuerza (ENALUF)

/ \*GEOLOGIA /  
/ AMERICA CENTRAL /  
/ EVALUACION TECNICA /  
/ MOMOTOMBO /  
/ NICARAGUA /

CONTENIDO:

1. DATOS HISTORICOS
2. LOS RECURSOS GEOTERMICOS DE NICARAGUA
3. ALCANCE DE TRABAJO LLEVADO A CABO
4. RESUMEN DE DESCUBRIMIENTOS Y RECOMENDACIONES
5. PLANES PRESENTES Y PLAN MAESTRO
6. COSTOS DE EXPLORACION

## DESARROLLO DEL PROYECTO GEOTERMICO MOMOTOMBO

### 1. DATOS HISTORICOS

La primera recopilación de manifestaciones térmicas en Nicaragua fue publicada por el Servicio Geológico en 1959. En 1966 una misión de la firma consultora ELECTROCONSULT (ELC) visitó el país a fin de buscar campos geotérmicos y señaló las zonas de Momotombo, San Jacinto, Laguna de Xiloá y Tipitapa, todas localizadas en la parte oeste del país. La misión propuso un programa de exploración para estas áreas, al Gobierno, el cual formuló un proyecto para desarrollo de los recursos geotérmicos de Nicaragua consistente de tres fases:

- identificación y delineación de campos geotérmicos potenciales;
- ensayo de campos potenciales por perforación de exploración profunda; y,
- diseño y desarrollo de planta para producción de vapor y electricidad.

Un contrato fue firmado en 1969 entre el Gobierno y Texas Instruments, Inc., para llevar a cabo la Fase I de las investigaciones, financiado por un préstamo de USAID, en la cantidad de US\$ 640.000. El Servicio Geológico del Ministerio de Economía, Industria y Comercio fue la agencia contraparte para este proyecto. Las investigaciones fueron terminadas en febrero de 1971 con un reporte de Texas Instruments, que sacó en conclusión que el campo Momotombo podía soportar una estación de energía geotérmica de 25 MW o más, y el área San Jacinto también fue considerada un campo comercial, potencial. La ejecución de la Fase II fue recomendada para evaluar estos dos campos.

Una misión de las Naciones Unidas visitó Nicaragua en mayo de 1971 a solicitud del Gobierno, con el propósito de revisar el trabajo hecho y hacer recomendaciones. La misión confirmó las conclusiones principales de la Texas Instruments, y redactó un programa detallado para la terminación de la investigación,

incluyendo el diseño preliminar y el estudio de factibilidad para la primera estación de energía geotérmica. Con base en esto, el Gobierno de la República solicitó asistencia técnica y financiera del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el cual fue aprobado por la Junta Gobernadora del PNUD en enero de 1972. El costo total del proyecto fue estimado en US\$ 3.016.000, de los cuales \$ 1.066.000 fueron contribuidos por el PNUD, y el proyecto será completado en tres años.

El trabajo de campo se empezó en abril con las Naciones Unidas como Agencia Ejecutiva. El Servicio Geológico, en cooperación con la Empresa Nacional de Luz y Fuerza (ENALUF), representó al Gobierno como agencia contraparte, pero se interrumpió por el terremoto de Managua en diciembre de 1972. Debido a la situación de emergencia creada por esta catástrofe, el Gobierno decidió, en marzo de 1973, reducir el programa de trabajo para completar solamente las inspecciones geocientíficas que habían estado en progreso. El trabajo fue finalizado en diciembre de 1973, y se llegó a la conclusión que ambos campos, de Momotombo y San Jacinto, eran prospectos comerciales prometedores. Se recomendó empezar la perforación exploratoria en Momotombo, cuando las condiciones permitieran la continuación de la exploración.

El costo total de este programa fue de US\$ 450.000, de los cuales el 53% fue aportado por el PNUD.

A finales de 1973, el Gobierno de Nicaragua decidió encomendar a ENALUF la terminación de las investigaciones geotérmicas. En este tiempo la crisis de petróleo empezó y los precios de los derivados del petróleo incrementaron abruptamente, dando nueva significación a fuentes de energía endógena como la energía geotérmica. ENALUF firmó un contrato con ELECTROCONSULT en mayo de 1974 comisionándolos a ellos para terminar la segunda y tercera fase de la investigación del campo Momotombo, investigando la capacidad de producción a través de la perforación exploratoria profunda, y para hacer un diseño preliminar y estudio de factibilidad para una estación de energía. Al mismo tiempo, ENALUF firmó un contrato con FORAMINES S.A., quienes iban a perforar 4 agujeros exploratorios profundos, estimados en 600-900 m de profundidad y totalizando 3.600 m. La perforación por FORAMINES fue terminada en mayo de 1976. ELC terminó su trabajo en diciembre de 1976 y preparó los siguientes reportes:

GNI-D-3820	Estudio de Factibilidad de la Primera Planta Geotérmica en Nicaragua	Septiembre, 1976
------------	--	------------------

GNI-D-3752	Reporte Hidrogeológico	Abril 1976
GNI-D-3772	Inspección Gravimétrica	Mayo 1976
GNI-D-3787	Reporte Geoquímico	Julio 1976
GNI-D-3744	Reporte Geológico	Agosto 1976
GNI-D-3871	Reporte sobre el Nivel del Campo	Octubre 1976
GNI-D-3914	Resultados de Mediciones en Pozos del Campo Geotérmico de Momotombo	Febrero 1976

En agosto de 1975 ENALUF firmó un contrato con ENERGETICOS, S.A., para perforar 12 pozos productivos en el área del Momotombo bajo la supervisión de la California Energy Company como firma consultora. El alcance de este contrato se ha extendido posteriormente.

## 2. LOS RECURSOS GEOTERMICOS DE NICARAGUA

Se hizo referencia a la sección sobre Nicaragua en el reporte "Recursos Geotérmicos de Centroamérica - Colección Provisional de Datos Disponibles", por Sveinn S. Einarsson, Programa Energético Centroamericano, Tegucigalpa, julio de 1977.

3. ALCANCE DE TRABAJO LLEVADO A CABO

3.1 Area del Momotombo

El campo geotérmico del Momotombo está localizado en la falda sur del volcán Momotombo en la playa del lago Managua. Las coordenadas geográficas son de aproximadamente 12°- 23'N y 86°- 33'O. La elevación es de 100-200 m sobre el nivel del mar. El trabajo ejecutado incluye:

- 3.1.1 Diseño de mapa topográfico en escalas 1:50.000 y 1:5.000 (varios).
- 3.1.2 Diseño de mapa geológico, escala 1:50.000 y 1:25.000 (Texas Instruments, PNUD).
- 3.1.3 Inspecciones geoquímicas, regionales (Texas Instruments, PNUD, ELC).
- 3.1.4 Estudios hidrogeológicos (PNUD, ELC, ENALUF).
- 3.1.5 Inspecciones gravimétricas (Texas Instruments, ELC).
- 3.1.6 Mediciones de resistividad eléctrica (Texas Instruments, PNUD, (Scintrex), ELC, CEL (Phoenix)).
- 3.1.7 Perforación de pozos de gradiente de temperatura (Texas Instruments, CEC, ENALUF).
- 3.1.8 Construcción de caminos de acceso, de campamentos, sitios para perforar (ENALUF).
- 3.1.9 Perforación de 4 pozos exploratorios con diámetro completamente profundo 310-1.450 m (ELC-FORAMINES).
- 3.1.10 Perforación de 16 pozos productivos y exploratorios de diámetro completamente profundo (Julio 1977) (CEC - Energéticos).
- 3.1.11 Ensayo de producción y recopilación de datos del reservorio (ELC, CEC, ENALUF).
- 3.1.12 Diseño preliminar y estudio de factibilidad para una estación de energía geotérmica de 30 MW (ELC).

- 3.1.13 Estudios preliminares de disposición de agua usada (ENALUF, ELC).
- 3.1.14 Estudios de riesgos volcánicos en Momotombo (PNUD).
- 3.1.15 Reuniones de revisión técnica, diciembre 1973, septiembre 1975, junio 1977 (PNUD).

### 3.2 Area San Jacinto - Tisate

El campo San Jacinto Tisate está localizado a 3-4 Km al este del volcán Santa Clara y San Jacinto a una elevación de 200 m sobre el nivel del mar. Las coordenadas geográficas aproximadas son 12°- 36'N, y 86°- 46'O.

Se ha llevado a cabo el siguiente trabajo:

- 3.2.1 Diseño de mapa topográfico 1:50.000 y 1:25.000 (varios).
- 3.2.2 Diseño de mapa geológico 1:50.000 y 1:25.000 (Texas Instruments, PNUD).
- 3.2.3 Inspección Geoquímica (TI y PNUD).
- 3.2.4 Inspección gravimétrica (TI).
- 3.2.5 Mediciones de resistividad eléctrica (TI, PNUD-SCINTREX, CEC-PHOENIX).

### 3.3 Area El Hoyo

El área El Hoyo está localizada sobre las faldas este más bajas del volcán El Hoyo y se extiende dentro del valle hacia el este al Cerro Colorado, elevación 100-200 m sobre el nivel del mar. Coordenadas geográficas aproximadas 12°- 27'N y 86°- 37'O.

El trabajo llevado a cabo incluye:

- 3.3.1 Diseño de mapa topográfico 1:25.000
- 3.3.2 Reconocimiento geológico (PNUD, CEC).

- 3.3.3 Inspecciones geoquímicas (PNUD).
- 3.3.4 Inspecciones de resistividad eléctrica (PNUD-SCINTREX, CEL-PHOENIX).
- 3.3.5 Perforación de 14 pozos de gradiente de temperatura (CEC, ENALUF).

#### 3.4 Area El Papalonal

Esta área está localizada al noreste del volcán Momotombo. El siguiente trabajo se ha llevado a cabo:

- 3.4.1 Reconocimiento geológico (CEC).
- 3.4.2 Mediciones de resistividad eléctrica (PNUD-SCINTREX, CEC-PHOENIX).
- 3.4.3 Perforación de pozos con gradiente de temperatura (CEC, ENALUF).

#### 4. RESUMEN DE DESCUBRIMIENTOS Y RECOMENDACIONES

##### 4.1 Area del Momotombo

Todas las inspecciones llevadas a cabo (TI, PNUD, ELC y CEC) han estado de acuerdo en que el campo Momotombo es un prospecto para la producción de energía geotérmica, y esto ha sido demostrado por producción de vapor en cantidad comercial probado por la perforación. Algunas dudas existen sobre la producción total de vapor obtenida, debido al hecho que el ensayo de producción ha quedado seriamente atrás de la perforación; sin embargo, la revisión técnica de una misión del PNUD, en junio de 1977, estimó con base a los datos disponibles en ese tiempo cuando habían sido perforados 16 pozos profundos, que existía vapor suficiente para producción de 20 MW de electricidad. Aunque temperaturas altas (arriba de 320°C) han sido encontradas debajo de 1.000-1.500 m de profundidad, el volumen de la producción actual parece ser derivada de un reservorio de poca profundidad entre 300 y 500 m de profundidad con temperatura de 230°C.

La práctica anterior de usar lodo de perforación mientras se penetran horizontes productivos potenciales, ha sido criticada, y fue abolida en la perforación del pozo N°17 y pozos subsecuentes. Una proporción de éxito más alta que ha sido reportada desde entonces probablemente se deba a esto, pero también puede ser debido a una selección mejor de sitios, concentrándose en las zonas más productivas.

La misión de revisión estimó que el recurso geotérmico probado en Momotombo es del orden de 3.000 MW años, pero podría ser mucho más grande si las condiciones de recargo son favorables.

Los resultados de mediciones hechas en junio de 1977 por CEC con equipo muy sensitivo (Sperry Sun/Hewlett-Packard) con el propósito de evaluar el recargo y otros parámetros del reservorio todavía no han sido reportados, pero perforación intensiva del área más productiva ha sido continuada desde entonces.

En su Estudio de Factibilidad en septiembre de 1976, ELC recomendó la construcción de una estación de energía de 30 MW como la primera unidad en el campo. El Gobierno ya ha negociado el financiamiento de una planta de energía de 35 MW.

POZOS DE PRODUCCION Y EXPLORATORIOS PERFORADOS EN MOMOTOMBO

AGOSTO 1977

POZO N°	PROFUNDIDAD m	MAXIMA TEMPERATURA °C	CAPACIDAD ES TIMADA EN MW
MT-1	795	119	
MT-2	490	215	5.5
MT-3	310	224	8.0
MT-4	1.435	327	2.0
MT-5	1.094	204	
MT-6	580	126	
MT-7	1.798	170	
MT-8	1.757	253	
MT-9	616	221	6.0
MT-10	2.105	301	
MT-11	912	191	
MT-12	402	234	5.0
MT-13	435	216	1.0
MT-14	440	216	1.0
MT-15	649	190	
MT-16	2.251		
MT-17	328		5.0
MT-18	1.124		
MT-19	537		3-4
MT-20	311		8-9
TOTAL .....	18.369		44.5 - 46.5

4.2 Area San Jacinto - Tisate

Las inspecciones de resistividad eléctrica llevadas a cabo por tres diferentes organizaciones han delineado importantes anomalías en las áreas San Jacinto - Tisate, y otra anomalía hacia el noroeste. Inspecciones geoquímicas no han proporcionado información importante debido a la escasez de punto de muestreador.

Un número moderado de pozos con gradiente de temperatura en localidades cuidadosamente fundidas podrían ser útiles para confirmar el significado de anomalías eléctricas. Sin embargo, el consenso es que esta área es un prospecto de potencial comercial, que solamente puede ser probado por profunda perforación exploratoria.

#### 4.3 Area El Hoyo

Las extensas áreas de resistividad baja al este del volcán El Hoyo, la evidencia geoquímica de calentamiento de vapor del agua subterránea, y pérdida sustancial de calor para el Río El Obraje, son indicadores positivos de importante potencial geotérmico. Esto ha sido confirmado por mediciones de gradientes de temperatura, mostrando flujo de calor intenso a la superficie. Profunda perforación exploratoria parece ahora ser un siguiente paso lógico para exploración más amplia de este campo.

#### 4.4 Area Papalonal

Mientras mediciones de resistividad eléctrica han mostrado anomalías de resistividad baja, mediciones de gradiente de temperatura han dado resultados decepcionantes.

## 5. PLANES PRESENTES Y PLAN MAESTRO

Los planes inmediatos requieren de continuada perforación de producción con el objeto de probar vapor suficiente para 100 MW. Por el momento este esfuerzo será concentrado sobre el campo Momotombo.

Las preparaciones están en progreso para la construcción de una estación de energía de 35 MW como primera unidad en el campo Momotombo para operar en 1980.

Una inspección extensa de los recursos geotérmicos de Nicaragua, como parte de un plan maestro para el desarrollo del sistema de energía eléctrica del país para finales de este siglo, ha comenzado en 1978. La inspección geotérmica será llevada a cabo por IECO-LI, de San Francisco. Este estudio es financiado por el BIRF.

Se espera que el resultado final de esta porción del estudio general sea lo siguiente:

- 5.1 Una valorización más general de otros sistemas geotérmicos en la faja geotérmica central de Nicaragua, resultando en clasificación de esos reservorios en términos de tamaño probable, productividad, desarrollo factible, naturaleza del reservorio (si son de vapor seco, o predominantemente líquidos).
- 5.2 Una identificación de otros campos geotérmicos potenciales en otras partes de Nicaragua.
- 5.3 Planos de exploraciones detalladas y programas de desarrollo incluyendo costos estimados, para el desarrollo de energía geotérmica en los campos geotérmicos encontrados atractivos para posibles desarrollos.

6. COSTOS DE EXPLORACION

		<u>Equivalente US\$</u>
1969-71	Investigación por Texas Instruments, Inc.	639.400
1972-73	Investigación por NU/PNUD	448.600
1972	ENALUF	53.200
1973	"	17.300
1974	"	1.111.900
1975	"	2.769.700
1976	"	6.828.200
1977(*)	"	<u>4.182.200</u>
TOTAL .....		16.050.500

NOTA (\*): Al 31 de julio de 1977

Debe ser notado que por lo menos parte de los costos en 1976 y 1977 deben ser considerados como costo de perforación de producción en lugar de exploración en el sentido más estricto.

Actualmente el campo geotérmico de Momotombo está en capacidad de abastecer la primera unidad de 35 MW que con la ayuda del Gobierno Japonés está en proceso de licitación y se espera esté instalada para 1980. Se espera que de aquí a esa fecha se haya podido adquirir una segunda unidad de 35 MW con otros fondos.

Nuestras investigaciones no se han limitado únicamente al Momotombo sino que se han hecho también una serie de estudios geoquímicos, geofísicos y geológicos en San Jacinto y El Hoyo, que tienen grandes perspectivas.

El Gobierno de Nicaragua tiene un interés constante en el desarrollo geotérmico del país investigando volcanes con la idea de llegar a liberar a Nicaragua de la dependencia tiránica del petróleo.

P A N A M A

ESTADO ACTUAL DE LAS INVESTIGACIONES GEOTERMICAS EN  
PANAMA

AUTOR:

Dr. Virgilio Luque  
Director del Proyecto Geotérmico  
Corporación de Desarrollo Minero  
(CODEMIN)

## CONTENIDO:

### RESUMEN

1. INTRODUCCION
2. ORGANIZACION INTERNA
3. PROYECTO GEOTERMICO CERRO PANDO
4. EVALUACION DEL TRABAJO REALIZADO
5. PROGRAMA DE INVESTIGACIONES FUTURAS

### ANEXOS

ESTADO ACTUAL DE LAS INVESTIGACIONES GEOTERMICAS EN  
PANAMA

RESUMEN

El propósito del presente trabajo es el de exponer en forma breve los logros alcanzados por la CORPORACION DE DESARROLLO MINERO (CODEMIN) en las investigaciones sobre el potencial geotérmico en el territorio de la República de Panamá.

Se describen además, los resultados de las distintas disciplinas utilizadas en la investigación (geología, geoquímica, geohidrología, geofísica y perforación). Se hace mención de los diferentes grupos y entidades que han participado en las investigaciones y se comentan los planes y perspectivas futuras.

## 1. INTRODUCCION

En el año 1971 el Gobierno panameño dió los primeros pasos para llevar a cabo investigaciones de los depósitos de fuentes energéticas existentes en el subsuelo panameño. De esta manera se dió inicio a un vasto programa de investigación en el cual fue incluida, además del carbón y petróleo, la energía geotérmica, de la cual nos ocuparemos en nuestra exposición.

La investigación sobre las fuentes y fenómenos de actividad termal se inició mediante un inventario a nivel nacional de las áreas que presentaban fenómenos de alteración hidrotermal y manifestaciones geotérmicas. El resultado final de este inventario fue la detección de 23 lugares en los cuales se encontraron manifestaciones de agua caliente y gases. De estos 23 sitios, 3 de ellos presentaban características geotérmicas de bastante interés.

Estos lugares son: Cerro Pando en la Provincia de Chiriquí, Agua de Salud y Calobre en la Provincia de Veraguas (Ver mapa). Tomando como requisitos necesarios para la realización de un proyecto de esta índole, la fácil accesibilidad, la proximidad a los centros de carga de áreas de mercados eléctricos y las características geotérmicas, se decidió concentrar los mayores esfuerzos en la zona de Cerro Pando, por ser ésta el área que satisfacía en mayor proporción estos requisitos.

Esta decisión fue tomada con la ayuda de técnicos de las Naciones Unidas que, una vez que la Dirección General de Recursos Minerales del Ministerio de Comercio e Industrias terminó de hacer el inventario, le prestaron asesoría para el escojimiento del sitio con mejores perspectivas.

## 2. ORGANIZACION INTERNA

El Gobierno Nacional encomendó en 1974 a la Corporación de Desarrollo Minero (CODEMIN), la realización de la evaluación del potencial geotérmico en el territorio panameño.

En estos tres últimos años de investigación, CODEMIN, con la ayuda y participación de otras entidades públicas, de organismos internacionales, de compañías privadas y del Gobierno Británico, ha logrado obtener resultados bastante alentadores.

Las dependencias y organismos que han participado directamente en estas investigaciones son las siguientes:

O.N.U.: En 5 ocasiones hemos contado con el asesoramiento de técnicos de las Naciones Unidas.

GRUPO INGLES: El Gobierno Británico ha colaborado en forma efectiva en la realización de estudios geofísicos (resistencia, microsísmica, magnetometría), estudios geológicos y estudios geoquímicos.

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES (B.R.GM.): Grupo francés que mediante contrato efectuó trabajos geoquímicos.

DIRECCION GENERAL DE RECURSOS MINERALES: Este Departamento del Ministerio de Comercio e Industrias de Panamá, realizó un inventario preliminar a nivel nacional de las zonas de manifestaciones geotermales.

INSTITUTO CARTOGRAFICO: Esta Institución ha contribuido al desarrollo positivo del proyecto, en la confección de mapas y fotografías aéreas.

INSTITUTO DE RECURSOS HIDRAULICOS Y ELECTRIFICACION (I.R.H.E.): El I.R.H.E. ha participado en forma bastante directa en las investigaciones geotérmicas, habiendo aportado personal y equipo, para el desarrollo de los programas de perforación, geoquímicos y geofísicos.

### 3. PROYECTO GEOTERMICO CERRO PANDO

#### 3.1 Ubicación

El campo geotérmico de Cerro Pando se encuentra ubicado en la región montañosa de la Provincia de Chiriquí, 50 kilómetros al NW de la ciudad de David.

Esta zona está comprendida dentro del área afectada por el vulcanismo plio-pleistocénico cuyo máximo exponente es el volcán Barú o Chiriquí.

El Gobierno panameño, con el propósito de evaluar las posibilidades de aprovechamiento de este campo, inició en el año 1975 estudios de foto-interpretación y geológicos, geohidrológicos, geoquímicos, geofísicos y de perforación; cuyos resultados pasamos a describir en forma breve.

#### 3.2 Geología y Foto-Interpretación

Mediante el estudio de las fotografías aéreas se pudo comprobar que la zona examinada ha sido fuertemente afectada por fenómenos tectónicos de grande intensidad, son evidentes en el terreno un gran número de fallas y graben de considerables dimensiones que nos testimonian estas observaciones; la hidrología superficial está totalmente controlada por la tectónica, además la zona presenta la característica de mostrar en superficie la existencia de un gran número de cráteres de variadas dimensiones y formas.

La geología de la región, tal como puede observarse en el mapa, es bastante complicada. El mapeo geológico se efectuó inicialmente en un área de 50 Km<sup>2</sup>, que para poder comprender los fenómenos geológicos, tectónicos y estratigráficos, fue necesario extenderla a 600 Km<sup>2</sup>.

La historia geológica de la región podríamos tratar de resumirla diciendo que sobre un basamento PreTerciario y del Terciario Inferior, constituido por rocas cristalinas tales como gabro, diorita, granodiorita, monzonitas y cuarzo monzonitas, se depositaron a partir del Eoceno, series sedimentarias constituidas por calizas, areniscas calcáreas, conglomerados y lutitas. Tanto el basamento cristallino como las series sedimentarias fueron afectadas y levantadas por el vulcanismo plio-pleistocénico y los

sucesivos fenómenos tectónicos. De manera que a 1.000 m sobre el nivel del mar encontramos evidencias de las series sedimentarias que probablemente constituyen el reservorio geotérmico de Cerro Pando.

### 3.3 Geohidrología

Los estudios geohidrológicos se han estado efectuando en forma sistemática y rutinaria durante estos dos años. Se han construido un gran número de vertederos para las mediciones de caudales, además se han estado tomando datos de temperatura y precipitación. Las precipitaciones en esta área supera los 2.500 mm anuales.

### 3.4 Geoquímica

El muestreo y los análisis químicos de las aguas han sido numerosos y fructíferos, habiendo éstos demostrado que nos encontramos en un campo geotérmico con reservorio de origen sedimentario y con temperaturas superiores a los 200°C. La B.R.G.M. de Francia (Bureau de Recherches Geologiques et Minieres), mediante contrato realizó estudios detallados y dió entrenamiento a técnicos panameños.

### 3.5 Geofísica

En los meses de marzo, abril y mayo de 1977, efectuamos estudios geofísicos que comprendieron varias disciplinas, tales como estudios microsísmicos, magnetométricos y de resistividad eléctrica. En el estudio de resistividad se usaron los métodos Dipolo-Dipolo, Schlumberger y Dipolo-Ecuatorial. Los estudios microsísmicos dieron resultados bastante satisfactorios, motivo por el cual nos estamos preparando para realizar una nueva prospección microsísmica. En cambio, los estudios de resistividad no resultaron ser los más adecuados para el tipo de terreno en el que predomina la topografía accidentada, como es el caso nuestro.

### 3.6 Perforación

Con el propósito de obtener información sobre la gradiente

de la zona, sobre la distribución de las formaciones lito\_lógicas y sobre la tectónica, efectuamos un programa de perforaciones que consistió en la realización de 5 pozos pequeños, con un total de 1.730 m perforados. Los pozos fueron perforados con tubería NQ. En la actualidad 2 de los 5 pozos están siendo utilizados para medidas de tempe\_ratura.

4. EVALUACION DEL TRABAJO REALIZADO

En las investigaciones de los depósitos geotérmicos en la República de Panamá, tanto el gobierno como el equipo de técnicos han sido muy cautelosos en el desarrollo de estas actividades. Cautela que se traduce en la preocupación por la creación de un grupo de trabajadores y técnicos capaces de realizar y dirigir proyectos de esta naturaleza, que de resultar factibles serían de gran impulso para la economía del país. En Panamá estamos muy próximos a esta meta.

Desde un punto de vista estrictamente técnico, podemos decir que en esta fase de investigación hemos llegado a la conclusión de que Cerro Pando consiste en un probable campo geotérmico con reservorio sedimentario a más de 500 m bajo la superficie topográfica y con temperaturas del orden de los 200°C a 240°C.

El Gobierno panameño se prepara para profundizar en los años venideros en las investigaciones de fuentes energéticas, entre ellas la energía geotérmica.

## 5. PROGRAMA DE INVESTIGACIONES FUTURAS

Antes de lanzarnos a realizar programas de perforaciones de pozos profundos de gran diámetro, hemos programado una serie de estudios adicionales, con los cuales pondríamos fin a la primera etapa del proyecto, o sea, la fase de exploración. Para terminar con la fase exploratoria hemos programado realizar: nuevos estudios microsísmicos en un área más amplia que la anteriormente estudiada; estudios gravimétricos, con el propósito de determinar la profundidad y existencia del reservorio sedimentario; 7 perforaciones pequeñas (100-200 m) para el estudio de gradiente térmico, estas perforaciones fueron iniciadas en el mes de enero de 1978.

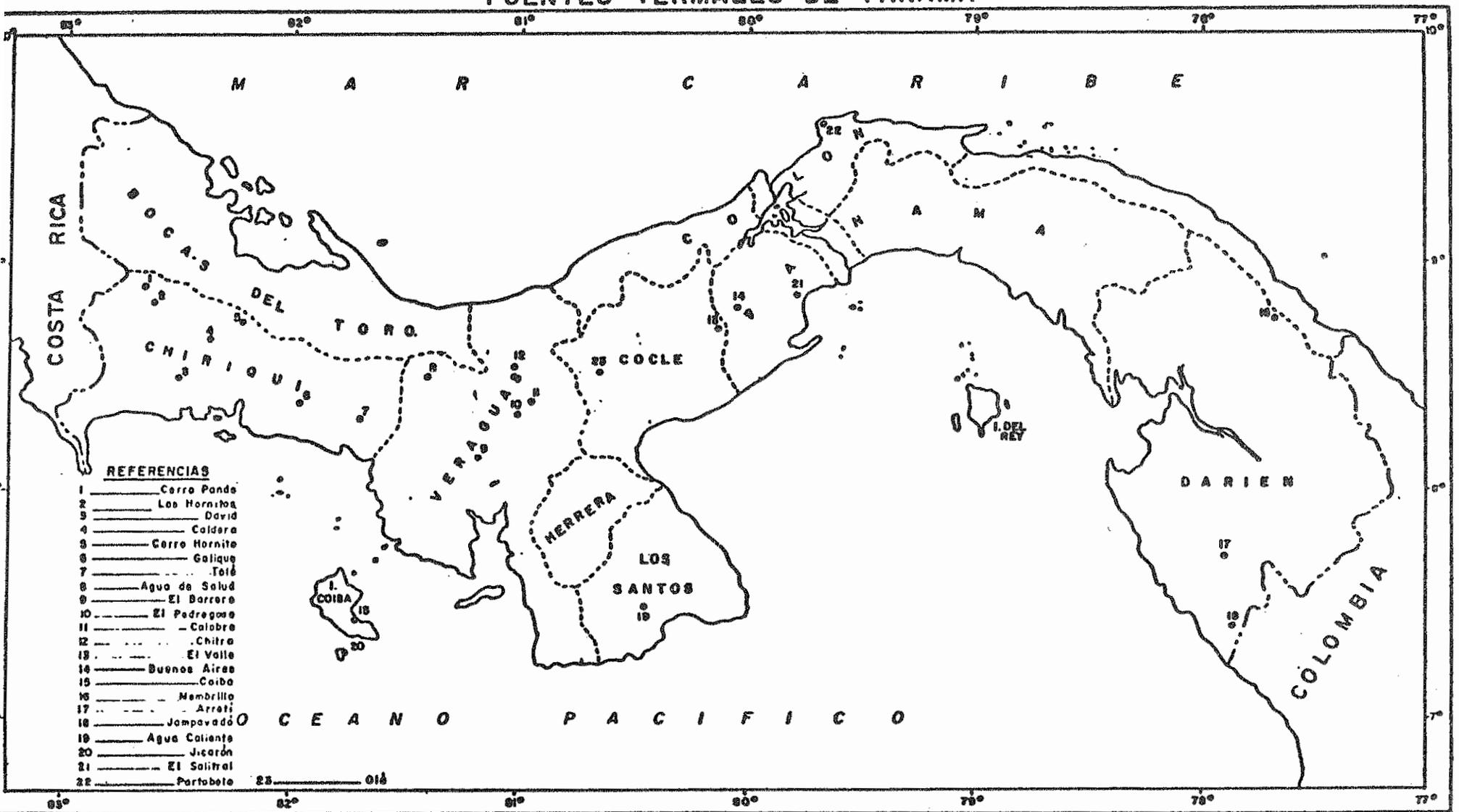
Conjuntamente con estos estudios adicionales, se continuará con el programa geoquímico y geohidrológico.

Dentro del programa de investigaciones futuras hemos incluido otras áreas con perspectivas geotérmicas (Calobre, Chitra, Agua Salud) en las cuales estamos realizando reconocimiento geológico y muestreo geoquímico.

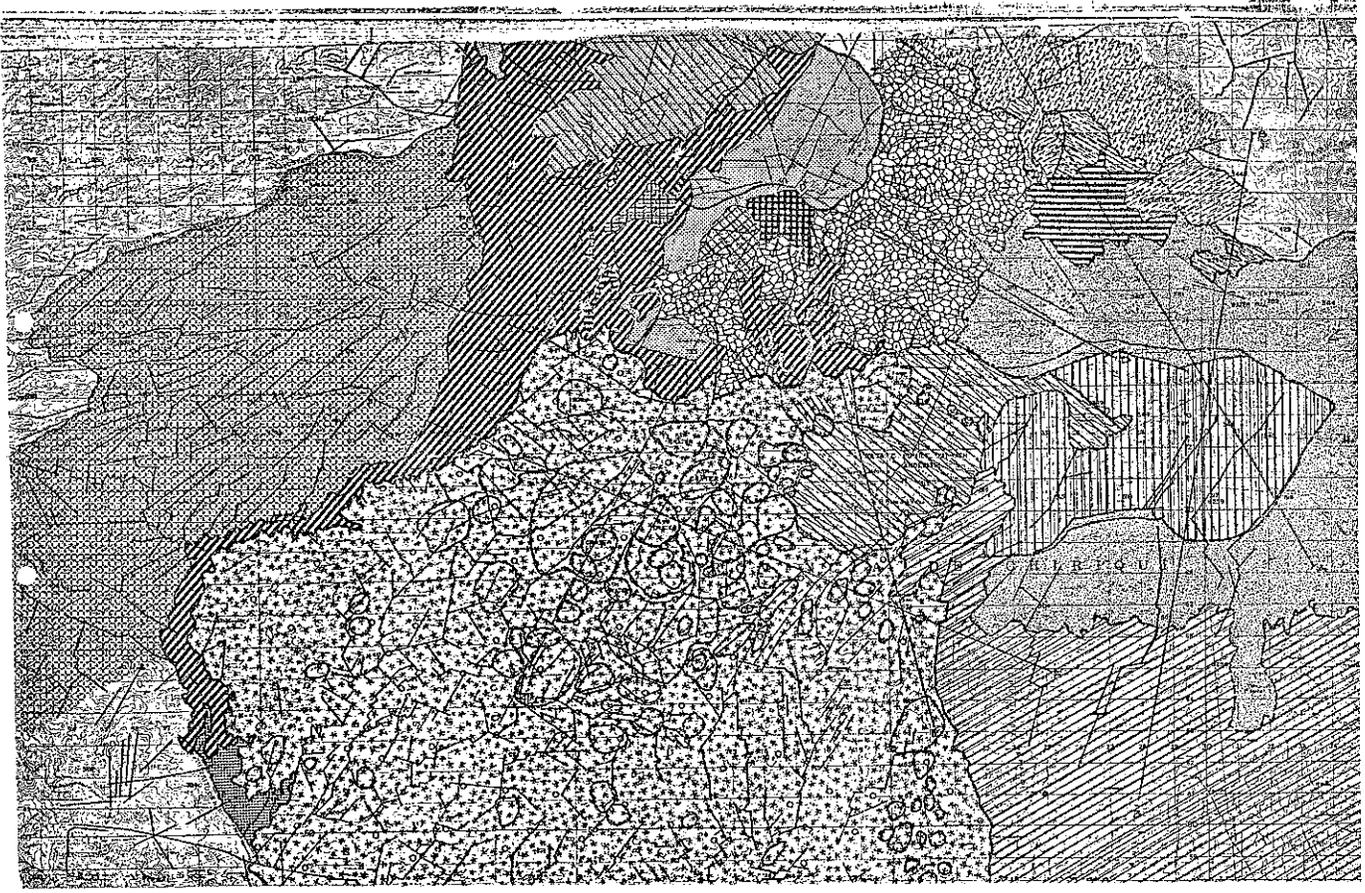
La fase exploratoria se espera esté concluida en mayo de 1979.

ANEXOS

# FUENTES TERMALES DE PANAMA



PROYECTO GEOTERMICO  
REPUBLICA DE PANAMA  
MAPA GEOLOGICO Y ESTRUCTURAL



LEYENDA

-  COMPLEJO BARU 1,2,3,4
-  PORFIDO DACITICO 1,2,3,4
-  COMPLEJO COLORADO 1,2
-  COMPLEJO TISINGAL 1,2
-  ANDESITA 1,2
-  COMPLEJO BARRILES
-  SEDIMENTOS MARINOS MIOCENO
-  BASALTO
-  GABRO
-  CUARZO MONZONITA
-  SEDIMENTO PLUVIAL
-  CRATER VOLCANICO
-  FALLAS

REPUBLICA DOMINICANA

INVESTIGACION GEOTERMICA EN REPUBLICA DOMINICANA

AUTOR:

Ing. Julio César Granja Vaca  
Departamento de Recursos Naturales  
y Energéticos

/INVESTIGACIÓN/  
/GEOTERMICA/  
/REPUBLICA DOMINICANA/  
/1978/

CONTENIDO:

1. INTRODUCCION
  2. IMPORTACIONES DE PETROLEO Y DERIVADOS
  3. NECESIDAD DE BUSCAR FUENTES PROPIAS DE ENERGIA
  4. POSIBILIDADES GEOTERMICAS EN REPUBLICA DOMINICANA
  5. INVESTIGACIONES GEOTERMICAS
  6. FUENTE LAS YAYAS
  7. FUENTE MAGUPELLALES
  8. LO QUE NO SE DICE DE LA GEOTERMIA
  9. CONCLUSIONES
  10. RECOMENDACIONES
- ANEXOS

## INVESTIGACION GEOTERMICA EN REPUBLICA DOMINICANA

### 1. INTRODUCCION

A la creciente demanda de energía habida en todos los pueblos del mundo, se sumó, a comienzos de la presente década, los altos precios alcanzados por el petróleo. Esta situación es, en resumen, lo que se ha dado en llamar "la crisis de la energía". Muy cierto, también, que el petróleo y demás combustibles fósiles se van agotando a un ritmo inquietante. Estas razones han hecho que los países, especialmente los industrializados, dediquen con ahinco, grandes recursos económicos y técnicos, a la búsqueda de nuevas fuentes de energía.

Los altos precios del petróleo han afectado fuertemente la economía de todos los pueblos importadores de ese combustible. El desarrollo logrado por la República Dominicana, grande o pequeño, pero desarrollo al fin, hace que los requerimientos de energía eléctrica se incrementen y, por tanto, las importaciones de petróleo aumenten proporcionalmente, afectando la economía nacional muy sensiblemente.

2. IMPORTACIONES DE PETROLEO Y DERIVADOS

Damos a continuación datos y cifras sobre las importaciones de petróleo y derivados a República Dominicana.

(MILES DE US\$)

AÑO	VALOR
1973	46.029.9
1974	154.014.2
1975	178.108.9
1976	188.010.0
1977	--

3. NECESIDAD DE BUSCAR FUENTES PROPIAS DE ENERGIA

La actual situación de República Dominicana, con respecto a sus necesidades energéticas, hace imperioso la búsqueda de fuentes propias de energía, como carbón, petróleo y minerales radioactivos que pueden haber en determinados lugares del territorio nacional.

Sin embargo, nuestros esfuerzos no deben concretarse solamente a esta búsqueda. Tenemos también que incursionar en los campos de la investigación para buscar fuentes alternas de energía. Esas nuevas fuentes son: solar, eólica, bioquímica, geotérmica, nuclear, etc. Todas estas fuentes pueden ser aprovechadas en República Dominicana y deben ser investigadas. Pues sabemos que, a excepción de la energía nuclear, la investigación del aprovechamiento de los otros recursos está probadamente al alcance económico y técnico aún de los países pequeños, como el nuestro. El "Departamento de Recursos Naturales Energéticos" de la Corporación Dominicana de Electricidad, con apenas tres meses de su creación, ha emprendido un amplio programa de investigación para el aprovechamiento de fuentes energéticas, tanto las convencionales como nuevas. El presente trabajo tiene por objeto exponer las investigaciones previas emprendidas por dicho Departamento para conocer si hay, en el territorio nacional, posibilidades de aprovechamiento de la energía geotérmica.

#### 4. POSIBILIDADES GEOTERMICAS EN REPUBLICA DOMINICANA

##### 4.1 Estudios Previos

Para emprender los estudios que nos lleve al conocimiento de las posibilidades geotérmicas en el territorio de la República Dominicana, hemos seguido la siguiente metodología:

- I Conocer si hay razones que justifiquen la posible existencia de campos geotérmicos en República Dominicana, ya que, como lo dice el viejo refrán español 'no vamos a buscar peras en el olmo'.
- II Si se justifica emprender ese estudio, se hará una recolección de datos referentes a la presencia de fuentes termales y manifestaciones geotérmicas; y,
- III Selección de áreas de interés.

Con respecto al punto I, hay muchas razones que justifican el que se haga la búsqueda de campos geotérmicos, ya que:

##### a) Geográficamente

El territorio de la República Dominicana se halla dentro del cinturón volcánico y cinturón sísmico, que en esta región confluyen. Demostrado y probado se halla el hecho de que las condiciones esencialmente favorables, para el aprovechamiento del calor geotérmico, se hallan en las zonas comprendidas con los nombres de "Cinturones Volcánicos" y "Cinturones Sísmicos" que, en nuestro caso, tales cinturones al bordear el mar Caribe, pasando por Venezuela, abrazan todas Las Antillas y se internan en la América Central. El territorio de la República Dominicana tiene, por tanto, favorables condiciones de localización en el aspecto geotérmico.

b) Los Estudios Geológicos

Los estudios geológicos realizados en el territorio nacional y la estratigrafía conocida, revelan la existencia, en pasados tiempos y no muy remotos, que hubo acciones volcánicas, con emisión de lavas.

Las formaciones estratigráficas, según el "Atlas Geológico y Mineralógico de la República Dominicana - 1969" por Renato Zoppis de Sena, con respecto a las rocas volcánicas, que por el momento nos interesan, dice: "ROCAS VOLCANICAS: Las rocas volcánicas se encuentran muy difundidamente en la Cordillera Central, en la Cordillera Septentrional y en la Península de Samaná, donde afloran andesitas augíticas o diopsídicas, dacitas, tobas y tufitas que alcanzan los 1.000 m de espesor. En la Sierra del Bahoruco afloran basaltos".

Todos los estudios geológicos realizados en la República Dominicana indican que, en pasados tiempos, hubo actividades volcánicas, las mismas que se continuaron hasta épocas bastante recientes. Esa actividad fue periódica antes que persistente. Las rocas ígneas que afloran en la República Dominicana ofrecen un magnífico campo para la investigación y servirán de guía a futuros trabajos que harán conocer mejor el volcanismo habido en el país.

Según T.W. Vaughan, la actividad ígnea de República Dominicana fue anterior al Cretácico Superior, pero sólo se conoce bien la actividad habida antes del Oligoceno Medio, por los conglomerados que fueron trabados por las extrusiones volcánicas y, además, por la existencia de intercalaciones de tuffos con depósitos fosilíferos que han hecho posible conocer su edad. En resumen, en la República Dominicana hubo volcanismo hasta épocas muy recientes y esa actividad volcánica habida, favorece a la existencia de campos geotérmicos.

c) Los movimientos Tectónicos

Que hicieron la configuración de la isla, dieron por resultado un fallamiento de sus estratos.

Tectónicamente, una somera revisión de la Geología del territorio de la República Dominicana nos indica que ella forma parte de la unidad estructural de todas Las Antillas, cuya conformación da para creer que su origen puede guardar relaciones con el origen de la Cordillera de Los Andes. Los sedimentos que cubrían un geosinclinal, fueron plegados y levantados gracias a fuerzas orogénicas originadas por la compresión que hacían los escudos cristalinos o Placas, según modernas teorías.

Los movimientos tectónicos que conformaron el arco de las Antillas, del que forma parte la República Dominicana, no solamente que levantaron y plegaron los estratos que constituyen el basamento de la Cordillera Central, sino que además los fracturaron, en muchas partes, mediante fallas, las cuales, especialmente las longitudinales, separan unidades estructurales bien delimitadas del territorio dominicano. Tanto el plegamiento de las cordilleras dominicanas, como las fallas longitudinales, tienen una dirección general que está entre NO a SE, o bien EO, que indica la dirección de las presiones que las dieron origen, como demuestran también la intensidad de esas presiones.

El fallamiento juega enorme importancia y favorece la existencia de campos geotérmicos. Terrenos de bloques fallados con volcanismo joven prometen altas temperaturas en los reservorios geotérmicos.

Sísmicos.- Ya se conoce que República Dominicana se halla dentro del cinturón sísmico. Su territorio ha temblado y seguirá temblando. La historia sísmica de la isla, en general, está llena de trágicos movimientos. Según el Lic. Domingo Martínez Barrio, en su trabajo "Consideraciones sobre la Historia Sísmica de la República Dominicana", anota que desde el año 1551 hasta 1898 se han realizado 56 terremotos muy intensos. La ciudad de Santo Domingo ha sido destruida algunas veces, lo mismo que otras ciudades importantes. En 1946 hubo en Santo Domingo un gran terremoto y el último habido fue el 11 de junio de 1971.

La sismicidad es, para la existencia de campos geotérmicos, un factor favorable, no es solamente causa de tragedias y destrucción.

## 5. INVESTIGACIONES GEOTERMICAS

Analizados y conocidos todos y cada uno de esos factores, se deduce que son favorables las condiciones para que, en el territorio de República Dominicana, existan campos geotérmicos capaces de ser explotados; entonces se entró a la fase de recolección de datos de todas las manifestaciones externas de la energía geotérmica que se presentan a lo largo y ancho del país.

Por el limitado tiempo que tienen estas investigaciones y el reducido personal a ellas dedicado, aún no se ha podido tener un completo conocimiento de las manifestaciones termales existentes en todo el territorio de la República Dominicana pero los datos que disponemos nos han permitido entrar, de manera parcial, a la tercera fase de la investigación:

### 5.1 Selección de Áreas

Las primeras fuentes termales visitadas se hallan al suroeste del país, en la Provincia de Azua. Una de las razones que nos llevó a que se escoja esta área, como de interés, fue el hecho de que las fuentes, aunque distantes entre ellas de 10 y más kilómetros, guardan una cierta alineación. Además, por ahí pasa la Falla de San Juan, más intuita que estudiada. Las fuentes indicadas son: Las Yayas, Maguellales y el Oreganito. Como primera providencia para el estudio geotérmico de esta zona, había que conocer su geología: Según los Geólogos D. Dale Condit y Clyde P. Ross, al hablar sobre la estratigrafía de las provincias de Azua y Barahona, indican que es así:

ROCAS SEDIMENTARIAS

Cuaternario	Reciente	Depósitos aluviales
	Pleistoceno y Plioceno	Calizas costaneras de coral. Formación Las Matas, cascajos y marga.
	Mioceno	Formación cerros de sal, areniscas, esquitas y calizas, sal y yeso.
Terciario	Eoceno y Oligoceno	Grupo Yaque, areniscas, esquitas conglomerados y calizas.  Areniscas y calizas esquistas verde y azul. Caliza gris cristalina, conglomerados y areniscas.
	Terciario	Principalmente calizas y rocas asociadas de edad Oligocena y Eocena.

ROCAS VOLCANICAS

Cuaternario	Pleistoceno y Plioceno (?)	Lavas basálticas y dacíticas andesitas y tufas
-------------	-------------------------------	--

6. FUENTE LAS YAYAS

Aflora al pie de una pequeña elevación formada por rocas sedimentarias de origen marino arrecifal. en la entrada de un angosto valle formado por el Río Tábara (Figura 1).

Al otro lado del valle aflora roca ígnea, constituida por andesita augítica, de color gris claro y se observa, también, brecha andesita. Una muestra obtenida de esta roca presenta una cara en la que se ve un "espejo de falla".

La Figura 1 indica la entrada del valle visitado. A la derecha se ve la roca sedimentaria, color claro. A la izquierda se hallan los montículos formados por roca ígnea. Al pie de la roca sedimentaria aflora la fuente Las Yayas, con una temperatura de 36.5°C. Emiten el característico olor de huevos podridos. Tienen un volumen de  $\pm$  1,5-2 litros/seg.

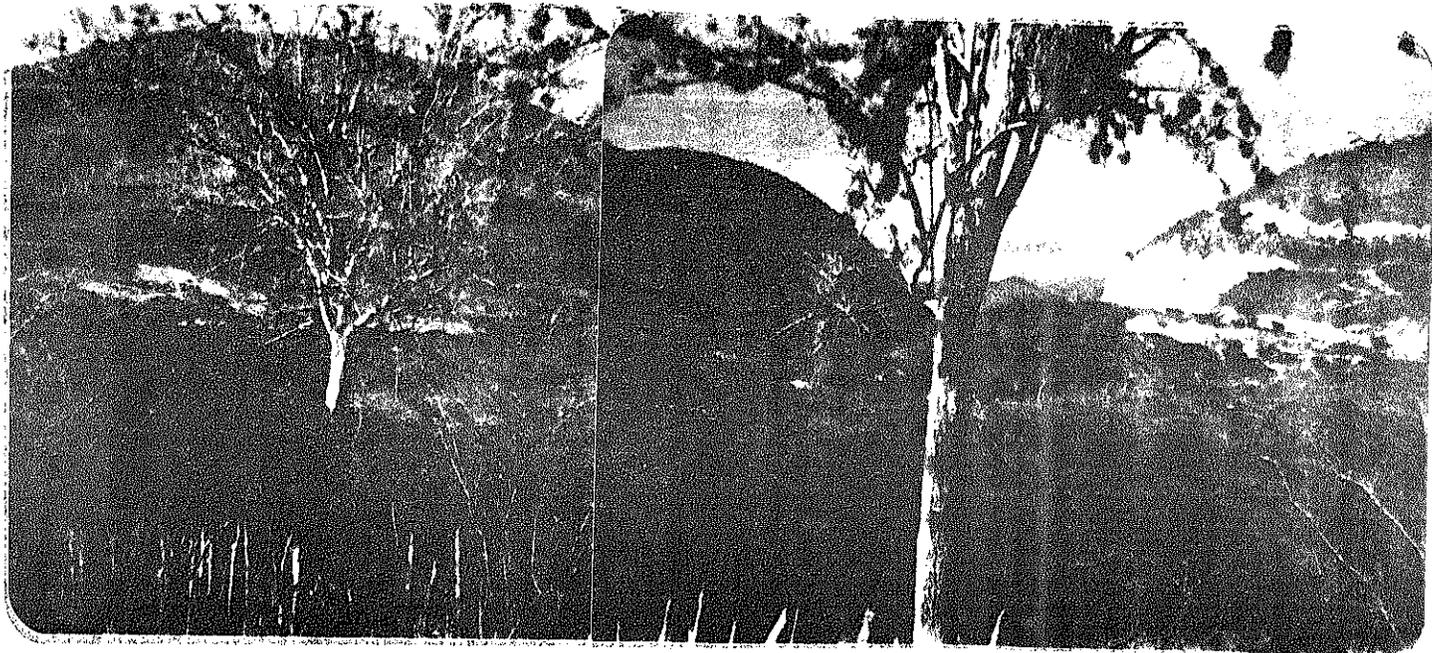
Todos estos detalles dan para deducir que este valle se halla sobre una falla ya reconocida desde hace mucho tiempo, con el nombre de falla San Juan. No obstante, en el mapa geológico de Renato Zoppis de Sena no consta ni la falla ni las rocas ígneas que allí existen, en buena extensión.

La ubicación de esta fuente está dada por las coordenadas de longitud 71° 08'O y de latitud 18° 34'N.

6.1 Análisis Químico (\*)

Temperatura	36.5°C
pH	7.65
Cond.eléctrica	7.91 x 10.4
Concentraciones (expresadas en ppm):	
Na	106
K	8.4
Ca	46
Mg	15.76
Br	0.520
I	0.063
Cl	171
SO4	12.7
F	0.64
HCO3	207
SiO2	26.32
B	0.54

NOTA (\*): Realizado en los Laboratorios de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, República de El Salvador.



Vista de la entrada al Valle del Arroyo Tibero.

Alturas de la izquierda: Andesita; a la derecha: sedimentos calizos, a su pie aflora la fuente termal "Las Yayas"

Mirando al Noroccidente.

FIGURA 1

## 7. FUENTE MAGUELLALES

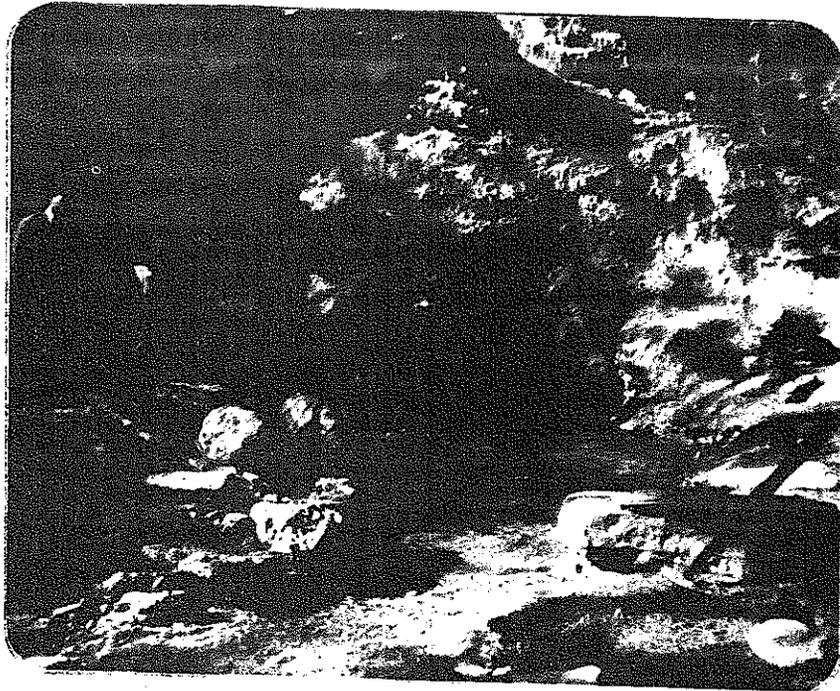
Aflora en la margen del Río Yaque del Sur a no más de 120 m de la orilla, en una planicie del sitio llamado Severo de Hato Nuevo - Cortés de Azua. La fuente tiene una temperatura de  $39.5^{\circ}\text{C}$  y  $\pm 7$  litros/seg., emite un penetrante olor a anhídrido sulfuroso (huevos podridos). Las aguas tienen un color verdoso-azulino. A su paso depositan pátinas de Azufre con pequeñas cantidades de sílice (sileaceous sinter).

Estas fuentes afloran al pie de un pequeño montículo que indica ser formado, indiscutiblemente, por la deposición de la sílice que las aguas termales depositaron en apreciables cantidades, cuando fluían en épocas remotas. Esta deposición silíceo tiene forma de una nariz, de un alto de  $\pm 5$  a  $6$  m por otros tantos de ancho y una longitud no determinada. Cuando se hagan los estudios completos, se hará un levantamiento de la zona y conoceremos con más detalles esta deposición y tendremos una mayor información sobre las fuentes que en épocas remotas manaban en esta zona. Por lo pronto, de acuerdo con los datos termo-geoquímicos, se deduce que la temperatura de las aguas debe haber sido muy alta. De la actual fuente, un tentativo cálculo a base de las relaciones de los minerales disueltos (geotermómetros), creemos que la temperatura del profundo lugar del que provienen estas aguas puede ser como de  $200^{\circ}\text{C}$ .

En la fuente Maguellales (Figura 2), se ve muy claramente que el agua fluye de una pequeña caverna que se halla al pie del montículo silíceo que se ha indicado es formado por la deposición que esas fuentes realizaron en tiempos pasados. Al pie del montículo en su base y a lo largo  $\pm 15$  m, a partir de la fuente, se ven depósitos de azufre.

El montículo que suponemos fue depositado por acción hidrotermal, tiene una alineación este-oeste y se halla, como ya queda dicho, a orillas del Río Yaque del Sur, en una planicie cubierta por depósitos aluviales modernos, hacia el norte, y muy cerca se ven fragmentos de rocas andesíticas. Río arriba, en la misma orilla a distancia de más o menos 1 Km, se aprecia como continuación, formaciones semejantes a los depósitos hidrotermales indicados. Serían manifestaciones fósiles del hidrotermalismo antiguo. Todo lo cual hace que se recomiende un levantamiento geológico, al detalle, de uno a dos kilómetros al rudo de la fuente.

La ubicación de esta fuente está dada por las coordenadas de longitud  $71^{\circ}10'0$  y de latitud  $18^{\circ}35'N$ .



Fuente Maguellales, brota al pie de un depósito hidroterma1 (Silíceo).

7.1 Análisis Químico<sup>(\*)</sup>

Temperatura	39.5°C
pH	6.96
Cond. eléctrica	8.34 x 10 <sup>-3</sup>
Concentración (expresada en ppm)	
Na	1.580
Ka	110
Ca	350
Mg	132
Br	10.2
I	0.55
Cl	2.739
SO <sub>4</sub>	145
F	3.9
HCO <sub>3</sub>	1.180
SI <sub>02</sub>	29.32
B	5.79

NOTA (\*): Realizado en los Laboratorios de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, República de El Salvador

Antes de indicar las conclusiones de este trabajo, hemos creído de nuestro deber insertar el siguiente acápite:

8 LO QUE NO SE DICE DE LA GEOTERMIA

Es muy cierto que varios países obtienen electricidad gracias al calor interno de la tierra. Pero no siempre ésto es posible. Hay muchos y graves inconvenientes que ese aprovechamiento lo hacen complicado, difícil y muchas veces imposible. Es cierto, también, que la técnica y la ciencia cada día van venciendo esos inconvenientes. Cientos de científicos y técnicos, en todo el mundo, estudian, investigan, experimentan. En los Estados Unidos de América, que es el país en donde se están dedicando los más grandes esfuerzos en el campo geotérmico, la generación de geotermoelectricidad es relativamente minúscula, no obstante la gran necesidad que tiene ese país de poder disponer de energía que le libere del petróleo.

Estas consideraciones, breves y ligeras, que son sanas advertencias que las hemos creído dignas de exponer, para que se frenen los exagerados optimismos. Debemos ser muy cautos al examinar las posibilidades geotérmicas de este país y, de hecho, de cualquier otro país, pero sobre todo no debemos precipitarnos y confiar a ciegas en los cantos de sirena. Nos referimos en particular a muchos agentes vendedores que, en su calidad de técnicos, están al servicio de firmas comerciales que nos hablan de los millones de kilowatios que serían obtenibles para el país mediante la compra de sus contratos.

Desde luego, al país le conviene seguir investigando, conociendo a fondo todos, y cada uno de los presuntos campos de interés geotérmico. Al mismo tiempo debe seguir adquiriendo, para ser aplicados localmente, todos los conocimientos y experiencias que en el mundo se van adquiriendo. Con la continua y metodológica aplicación de tales experiencias, se podrá llegar a la posible explotación de un campo geotérmico nacional si se lo encuentra, en forma económica y sin exponernos a grandes fracasos.

## 9. CONCLUSIONES

De las observaciones realizadas en la región sur de la Provincia de Azua, que las llamaremos iniciales, se desprende lo siguiente:

- a) Que en esta zona hubo, en épocas geológicas pasadas, una actividad volcánica.
- b) Como resultado de esa actividad volcánica se tienen los depósitos de rocas andesíticas y brechas andesíticas.
- c) Que las fuentes termales "Las Yayas" y "Maguellales" son manifestaciones post-volcánicas.
- d) Que esas fuentes termales afloran por una falla conocida con el nombre de "Falla de San Juan".
- e) Que tales manifestaciones hidrotermales indican la existencia, en el subsuelo, de un foco calórico, en posible proceso de enfriamiento.
- f) Que esta región debe ser considerada finalmente como de interés para posteriores investigaciones, cuando se haga la selección para estudios posteriores.

## 10 . RECOMENDACIONES

El "Departamento de Recursos Naturales Energéticos" de la Corporación Dominicana de Electricidad, en conformidad con la filosofía y fines de su constitución, se permite insinuar al señor Administrador General las siguientes recomendaciones:

- 10.1 Que la investigación geotérmica iniciada en el territorio dominicano debe continuarse con entusiasmo y optimismo, ya que la geotermia puede llegar a constituir un alivio a las necesidades energéticas de República Dominicana. Como complemento a estas previas observaciones, se deben realizar los siguientes trabajos:
  - 10.1.1 Levantamiento de un mapa geológico, a escala 1:20.000 de una superficie de más o menos 6 Km<sup>2</sup>.
  - 10.1.2 Análisis químicos de los depósitos hidrotermales de las fuentes Maguellales y Las Yayas.
  - 10.1.3 Perforación de 2 pozos someros (+ 60 m de profundidad) para medir la gradiente geotérmica.
- 10.2 Que esa investigación debe realizarse con nuestros propios recursos y la inversión de nuestra propia tecnología y los ingenieros a disponibilidad. En esa forma obtendremos apreciable economía y, sobre todo, solo así podremos ir adquiriendo técnica y experiencia que nos liberarán de la dependencia de la tecnología extranjera que tan cara se nos ha vendido en determinadas ocasiones, y guardando la mayor propiedad, en oportunidad ha resultado de un cuestionable valor técnico-científico. No podemos olvidar los numerosos casos que pueden servir de ejemplos en muchos pueblos que a ese respecto pueden considerarse técnicamente vulnerables.
- 10.3 Que se trate de conseguir, preferentemente de Gobierno a Gobierno, asistencia técnica, en este sector, de los hermanos países, para continuar con los planes de investigación de nuestros recursos naturales, incluyendo especialmente los geotérmicos. Ya los hemos comenzado a tener del

Gobierno de El Salvador, a través de la "Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa", organismo que realizó, sin costo alguno para el país, los análisis químicos de las aguas de las fuentes examinadas en este trabajo. La segunda etapa de esta investigación necesitará la ayuda de técnicos experimentados y que tan buenos los tienen México, Guatemala, El Salvador y otras Repúblicas Hermanas, así como Italia, Estados Unidos, etc.

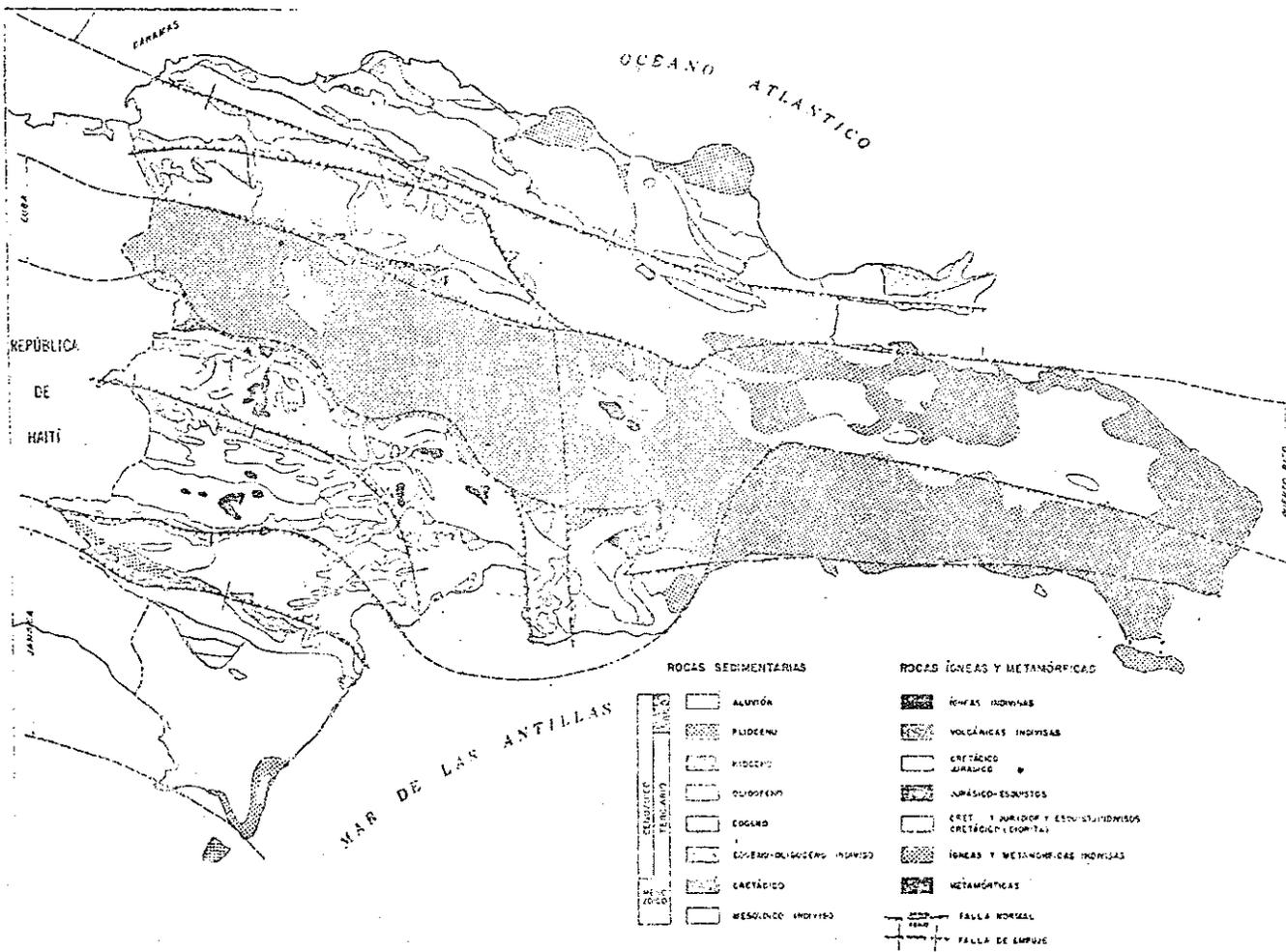
- 10.4 Una tercera etapa podrá completarse con la asistencia técnica que las Naciones Unidas puedan proporcionar a todos los países que de ella están necesitados y se podría sugerir que uno de los Organismos Internacionales o Regionales como "OLADE" pudiese realizar la coordinación de tal ayuda.
- 10.5 De asumir OLADE esa coordinación, lo haría sin incurrir en gastos extraordinarios ni necesitar la creación de nuevos órganos burocráticos, ya que esa creación traería muchas complicaciones y se comprometería la reputación de nuestro organismo regional.
- 10.6 Hay que hacer reconocimiento de las plausibles intenciones que animan a OLADE a sugerir la creación del COMITE de Acción de Recursos Energéticos. Nosotros creemos que dicho organismo no confronta la necesidad de esa creación. Empero, podría y debería realizar la implementación de los 7 objetivos que indica el Artículo 3° de la proyectada Acta Constitutiva del Comité de Acción sobre Financiamiento Energético.

Para llegar a una feliz realización de esos puntos, OLADE obtendría, estamos seguros, el máximo apoyo de todos los Países Miembros y, además, sería una manera práctica de obtener el aporte económico oportuno de los países que lo harían y muy satisfechos, por los directos y efectivos beneficios obtenidos.

ANEXOS



■ Zona Observaciones Geotermicas.-



Mapa esquemático de la geología y tectónica de Santo Domingo

(De Guerra y Peña, tomado por Santiago de la Fuente, Geografía Dominicana)

(1976)

VENEZUELA

INFORME SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS  
GEOTERMICOS EN VENEZUELA

INFORM. TECNICO!  
/ RECURSOS ENERGETICOS!  
/ GEOTERMIA / UTILIDAD /  
/ VENEZUELA!

PREPARADO POR:

Gerencia de Energías No Tradicionales  
Dirección de Planificación de CADAPE,  
Empresa de Energía Eléctrica del Estado  
Venezolano

CONTENIDO:

1. INTRODUCCION
2. LOS RECURSOS GEOTERMICOS EN VENEZUELA
3. ESQUEMA GENERAL DE LOS TRABAJOS EFECTUADOS  
EN LA ZONA EL PILAR-CASANAY
4. CONCLUSIONES

## INFORME SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS GEOTERMICOS EN VENEZUELA

### INTRODUCCION

Venezuela, como país eminentemente petrolero había remitido poca preocupación hacia los estudios e investigación aplicada a la búsqueda u obtención de nuevas fuentes de energía. Las necesidades cada día en aumento de mayores cantidades de energía, la estructuración de un sistema económico del petróleo con fines más específicos y la casi total utilización del potencial hidráulico, han estimulado no solamente a nuestro país sino a todos, a quienes nos preocupa la crisis energética existente a nivel mundial, hacia la búsqueda de nuevas fuentes de energía.

Es sólo recientemente, en los años 1974 y 1975, cuando Venezuela ejecuta los pasos previos a un inventario y planificación orientados a la prospección de nuevas fuentes de energía.

A tal efecto la Compañía Anónima de Administración y Fomento Eléctrico (C.A.D.A.F.E.), creó a través de la Dirección de Planificación, la Gerencia de Energías No Tradicionales; Unidad que tiene a su cargo la responsabilidad de la evaluación integral de los recursos geotérmicos y otras fuentes alternas de energía con fines de generación eléctrica.

Dentro del programa de ésta, se contempla como uno de los más importantes el Plan Geotérmico Nacional, enmarcado dentro de los lineamientos fundamentales que caracteriza el actual proceso de planificación de la empresa.

## 2. LOS RECURSOS GEOTERMICOS EN VENEZUELA

En Venezuela existen numerosas manifestaciones geotérmicas diseminadas, coincidiendo con el denominado "Cinturón Geotérmico Nacional". (Ver Figura 1). Una descripción preliminar produjo en Venezuela se conocen 53 sitios con manifestaciones geotérmicas superficiales expresadas en forma de escapes de vapor, fumarolas, hervideros de lodo, geysers, etc., lo que estimuló a la Empresa CADAPE para realizar estudios geológicos y geoquímicos preliminares en las áreas de mayor posibilidad de factibilidad geotérmica.

La iniciación de los trabajos efectuados en este campo, con miras a utilizar el vapor endógeno para la generación de energía eléctrica, proviene cuando la Junta Directiva de CADAPE, según resolución emanada con fecha 21 de agosto de 1975, aprobó la constitución del Grupo Geotérmico y un presupuesto preliminar de aportación al proyecto de exploración. El grupo geotérmico quedó constituido por personal calificado de la Universidad Central de Venezuela, Ministerio de Energía y Minas y CADAPE.

Es importante destacar que una inspección inicial de la región comprendida entre las poblaciones de CASANAY y EL PILAR, en el Estado Sucre, efectuada en el curso del año 1975 por una misión de asesores italianos de la empresa ENEL y el Grupo Geotérmico Nacional, puso de manifiesto la existencia de condiciones geológicas estructurales indicativas de la existencia de fuente de calor y del estratoporoso necesarios para la formación del recurso, no habiéndose profundizado en la probabilidad de la existencia de la fuente de agua indispensable.

Los técnicos consideraron que de acuerdo a la magnitud de estas manifestaciones, la zona EL PILAR-CASANAY presentaba grandes posibilidades de explotación, por lo cual se iniciaron y continúan desarrollándose en esta región trabajos geológicos, geofísicos y geoquímicos para determinar el orden de factibilidad de recursos geotérmicos para generación de electricidad en esta área.

Hay que señalar que la demanda de generación en la región nororiental justifica el riesgo de la inversión en la prospección que actualmente se realiza en el Estado Sucre, pues representa una posibilidad importante de generación para cubrir al menos una parte de esa demanda, aumentando así las reservas de área y/o confiabilidad del sistema con bajos costos de instalación y operación utilizando un recurso teóricamente no agotable.

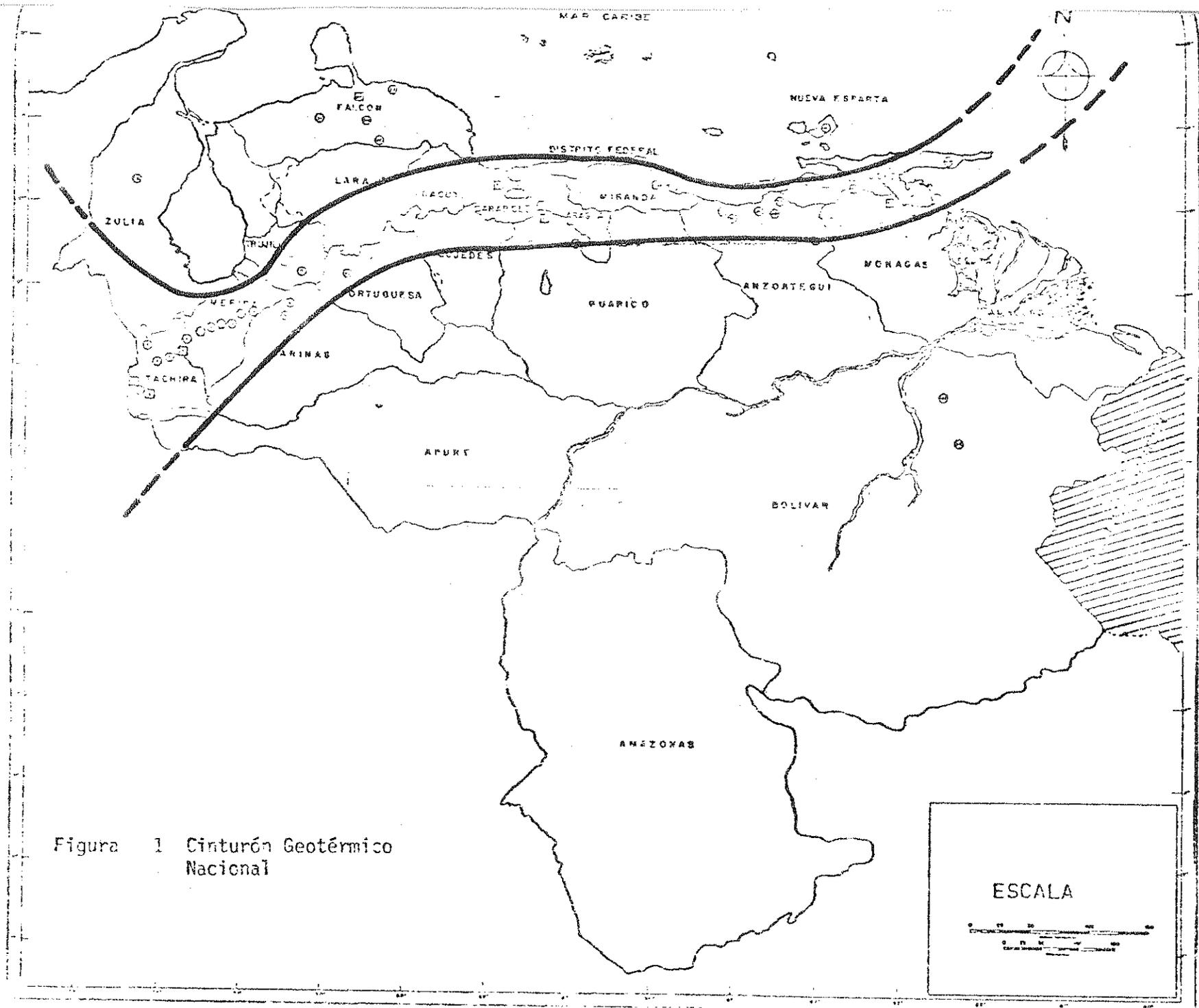


Figura 1 Cinturón Geotérmico Nacional

Cabe destacar que CADAPE ha llevado a cabo las siguientes actividades:

- a) Descripción preliminar de manifestaciones geotérmicas superficiales.
- b) Recopilación de información básica del área El PILAR-CASANAY.
- c) Estudio de la información existente.
- d) Definición de la metodología.
- e) Presupuestos tentativos.
- f) Incorporación y formación de técnicos
- g) Geología superficial
- h) Geoquímica y termometría de aguas.

De las actividades desarrolladas merece comentario especial la siguiente:

## 2.1 Definición de la Metodología

El grupo de trabajo participó en el transcurso de 1975 en dos seminarios, realizados uno en México y otro en Caracas, con incursiones en la zona de EL PILAR-CASANAY, con la participación de asesores nacionales y técnicos italianos de la empresa ENEL.

La experiencia obtenida permitió definir una metodología general para la prospección, evaluación y utilización de los recursos geotérmicos que como se sabe, es un proceso de "Aproximaciones Sucesivas".

Las etapas de exploración son:

Exploración a nivel regional.

Exploración a nivel zonal.

Exploración del campo geotérmico

produciéndose al final de cada etapa, una evaluación de los resultados obtenidos, lo cual permite la determinación de métodos a seguir.

Las fases que se cumplirán para la explotación de recursos geotérmicos con fines de generación de electricidad son:

- 1a. Fase: Exploración y evaluación
- 2a. Fase: Explotación y producción de campo
- 3a. Fase: Diseño de plantas y construcción

Concentrándonos exactamente en lo que se ha hecho y sobre lo que hay que hacer, nos tenemos que ubicar en la fase inicial de explotación o sea en la fase de exploración y evaluación de los recursos geotérmicos a nivel regional con los pasos preliminares hacia la misma primera fase, pero ya a un nivel zonal específicamente y con una prospección más detallada que nos llevara a una evaluación de la factibilidad geotérmica con fines de generación eléctrica para continuar más tarde con la fase de explotación y producción de campo y finalmente con la fase de diseño de plantas y construcción.

A continuación se muestra la organización que se ha determinado necesaria para la ejecución del Plan Geotérmico Nacional (Figura 2).

La descripción de cada una de las actividades realizadas y por realizar por parte de CADAPE, son resumidas en forma específica a continuación:

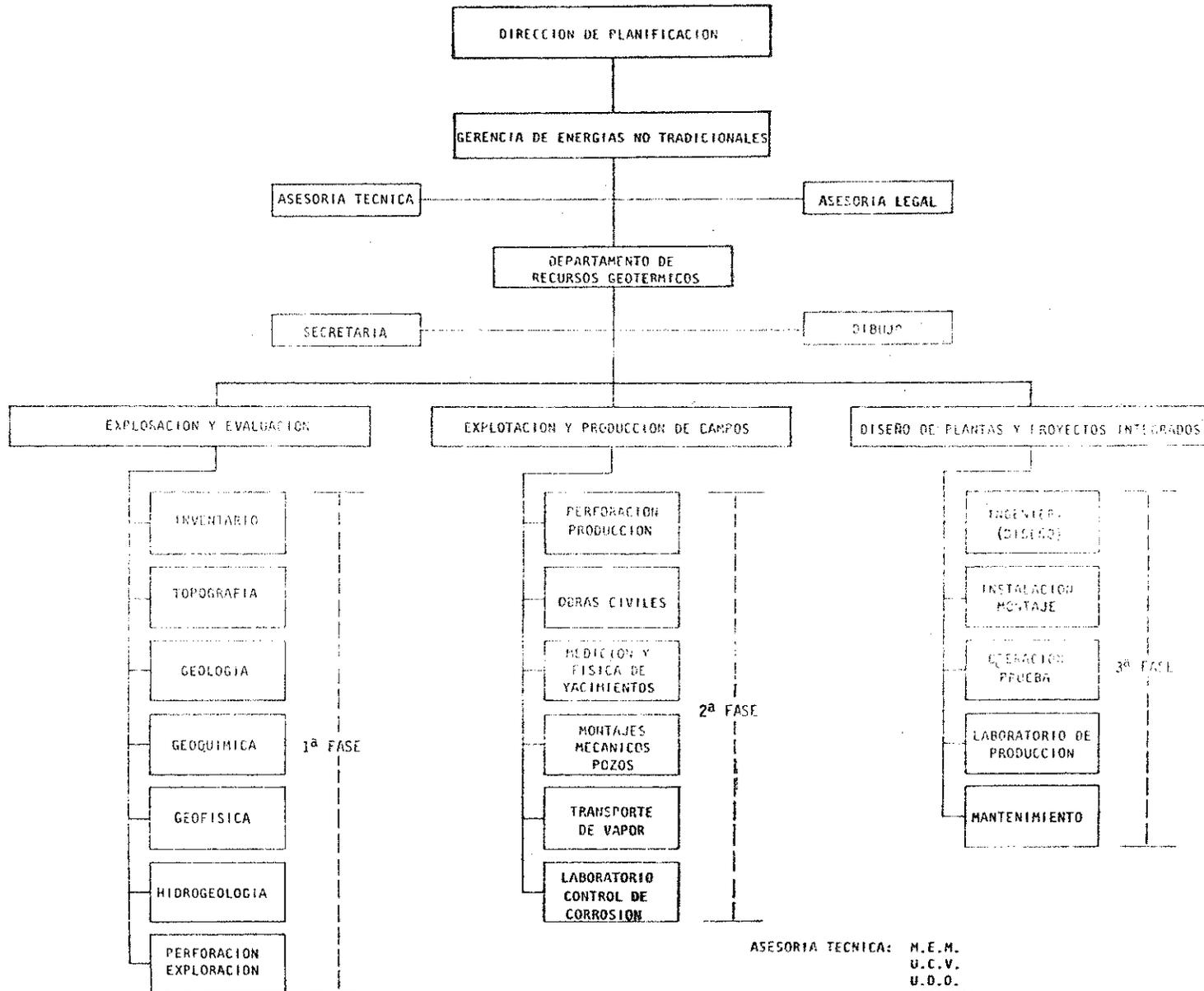
## 2.2 Recopilación de Información

- a) Fotografías aéreas
- b) Información sobre geología superficial
- c) Información sobre geoquímica y termometría
- d) Información sobre geofísica
- e) Información sobre hidrogeología

## 2.3 Inventario Nacional de Recursos Geotérmicos

- a) Identificación de fuentes potenciales a través

ORGANIZACION PROPUESTA PARA LAS FUNCIONES DE PROSPECCION DE RECURSOS GEOTERMICOS



ASESORIA TECNICA: M.E.M.  
 U.C.V.  
 U.D.O.  
 NACIONAL  
 EXTRANJERA

ASESORIA LEGAL: EN LA CONSULTORIA JURIDICA DE CADAFE.

FIGURA 2

de manifestaciones superficiales o de cualquier otro tipo.

- b) Mapa nacional de gradiente térmico.
- c) Ubicación en planos de escalas adecuadas
- d) Descripción de la fuente
  - Descripción de acceso: gráfico de acceso
  - Muestreo y análisis físico-químico
  - Descripción preliminar de características:
    - Geología
    - Hidrogeología
    - Hidrometeorización

#### 2.4 Geología Superficial

- a) Delimitación de unidades litológicas
- b) Determinación de patrones estructurales y delimitación de fracturas activas e inactivas
- c) Determinación de edades de las diferentes unidades geológicas

#### 2.5 Geoquímica y Termometría

- a) Muestreo sistemático de aguas termales
- b) Análisis físico-químico de aguas
- c) Termometría de agua
- d) Determinación de gradiente

Aún faltan por realizarse parte de las actividades anteriores y la ejecución total de los estudios geofísicos, hidrogeología y las perforaciones exploratorias, las cuales contemplan los siguientes puntos:

2.6 Geofísica

- a) Gravimetría
- b) Magnetometría
- c) Sondeos eléctricos verticales para test
- d) Perfiles sísmicos de refracción
- e) Procedimientos magneto telúrico de 5 componentes

2.7 Hidrogeología

- a) Evaluación de acuíferos
- b) Balance hidrogeológico
- c) Evaluación por cuenca de drenaje
- d) Gradiente hidráulico

Finalmente, la Perforación Exploratoria es considerada para el estudio completo y sistematizado de la prospección geotérmica.

### 3. ESQUEMA GENERAL DE LOS TRABAJOS EFECTUADOS EN LA ZONA EL PILAR-CASANAY

La distribución de las manifestaciones superficiales de energía geotérmica enmarcan a nivel nacional lo que se denomina "El Cinturón Geotérmico Nacional". Dicha distribución abarca los estados andinos en alineación con la Cordillera de Los Andes, continúa su orientación con la Cordillera de La Costa, bordeando la parte septentrional de los Estados Centrales y región Nor-Oriental del país. Este Cinturón prosigue su conformación en el Caribe delimitando la placa tectónica del mismo nombre (Figura 3).

En la Región Geotérmica del nor-orientede Venezuela; comprende el Estado Sucre principalmente, parte norte y este de los Estados Monagas y Anzoátegui, respectivamente, se vislumbra un gran potencial geotérmico, ya que en la misma se encuentra gran cantidad de manifestaciones superficiales con temperaturas entre 98° y 100°C, según los estudios de termometría.

Una de las más importantes manifestaciones geotérmicas es el de la región EL PILAR-CASANAY; el cual se localiza en el Distrito Bermúdez, entre el Municipio El Rincón y el Municipio El Pilar, Estado Sucre, cubriendo una extensión aproximada de 390 Km<sup>2</sup>, comprendida entre los poblados CASANAY-EL PILAR, en la región itsmíca del Oriente de Venezuela (Figura 4).

El área de exploración es recorrida por numerosas vías de penetración, lo cual permite un fácil acceso a los distintos lugares de prospección.

Los trabajos de campo y laboratorio consistieron en prospecciones detalladas en los campos de geología de superficie y geoquímica regional, los cuales se llevaron a efecto principalmente a lo largo de ríos, quebradas y cortes de carretera.

#### 3.1 Geología Superficial

La definición geológica del modelo estructural de la región El Pilar-Casanay, indica que en la parte septentrional de la misma aflora una secuencia metamórfica e ígnea en contacto abrupto e irregular con rocas sedimentarias cretácicas a reciente el cual constituye probablemente una antigua zona de Sutura, caracterizada por la presencia de serpentinitas, radiolaritas metamorizadas y metagabros (Melage Ofiolítico), los cuales se encuentran en las cercanías del contacto.

# VENEZUELA

## MAPA DE LOCALIZACION RELATIVA

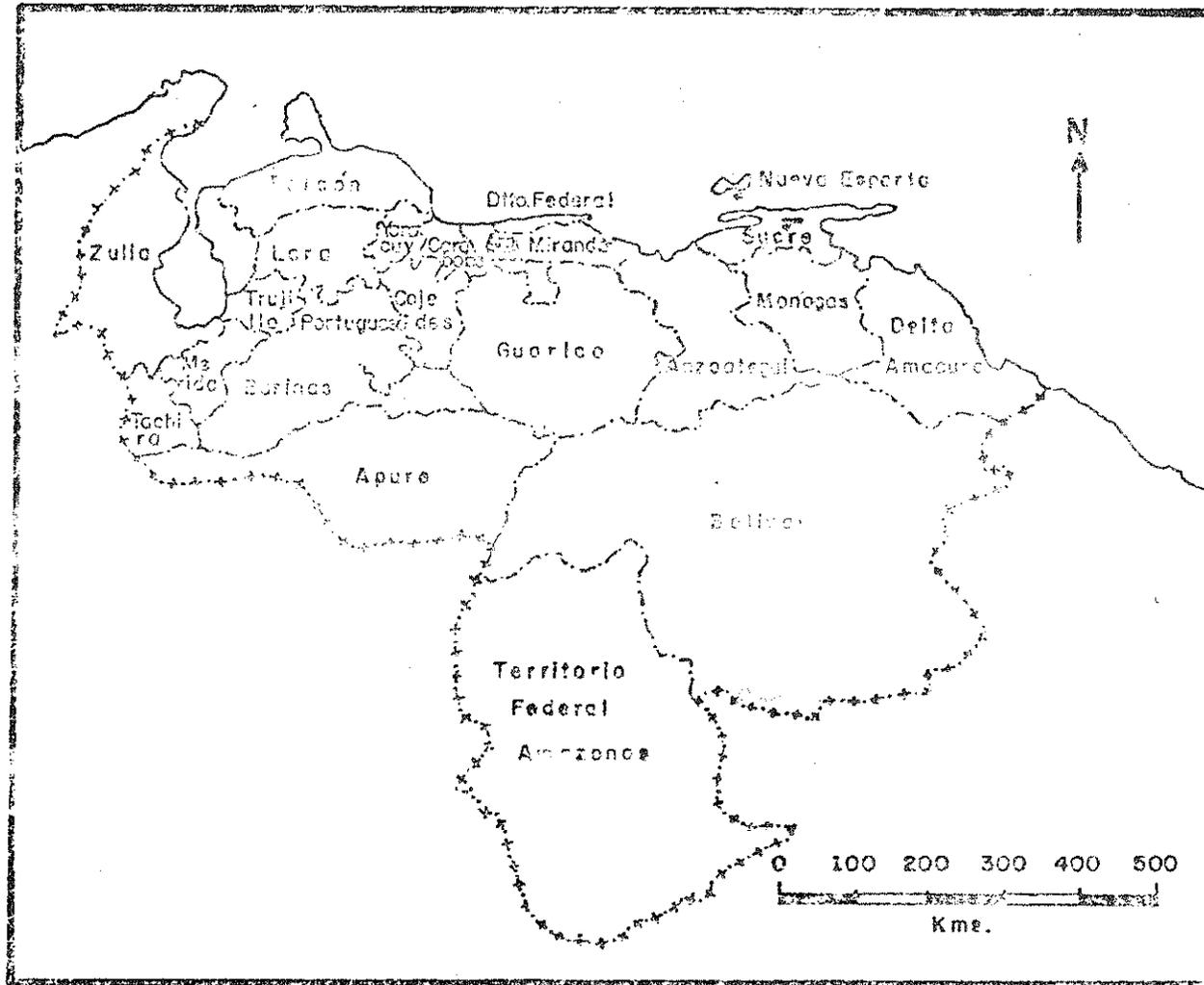


FIGURA 3



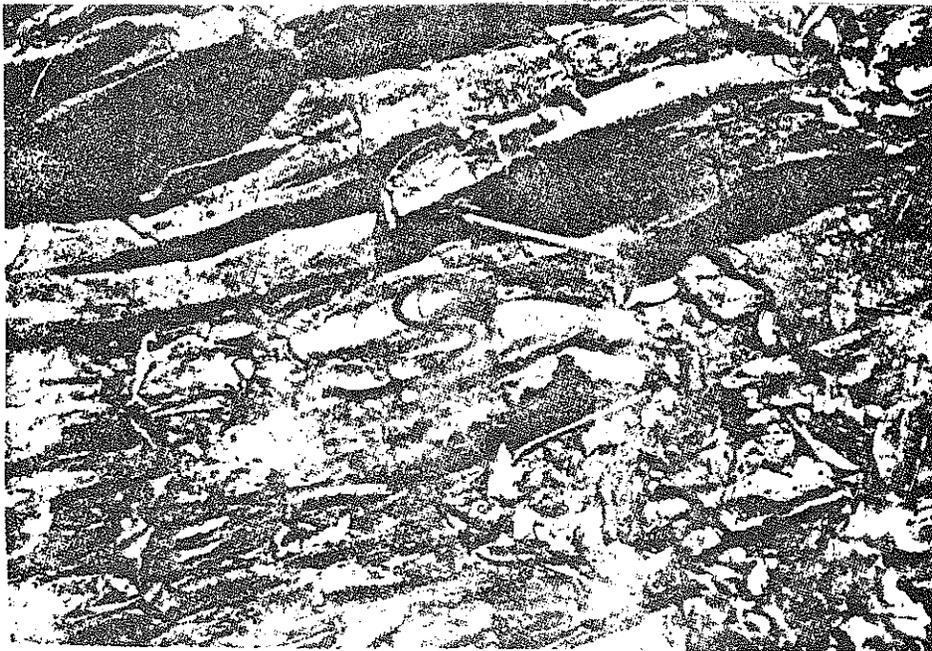
Las rocas sedimentarias comprenden aproximadamente el 60% del área total de estudio.

La columna estratigráfica se encuentra formada por:

Grupo Sucre	Formación Barranquin
	Formación El Cantil
Grupo Guayuta	Formación Querecual
	Formación San Antonio
Grupo Santa Anita	Formación Vidoño

discordante sobre estas unidades descansan las terrazas Terciarias.

Existen dos sistemas de pliegues superimpuestos, de los cuales el más intenso es isoclinal y presenta una foliación axial bien desarrollada. Hay evidencias claras sobre el no paralelismo entre foliación y estratificación.



Se asume la existencia de un sistema de pliegues prefoliación, por el hecho de haberse observado en rocas pertenecientes al complejo metamórfico que aflora en la región. En base a esto, se postulan tres períodos de plegamientos.

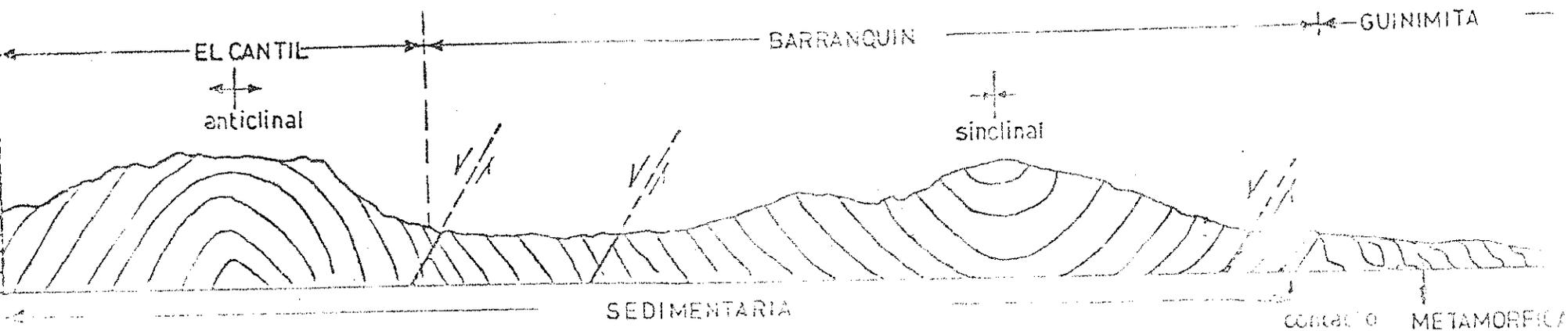
Las estructuras mayores presentes en las rocas sedimentarias comprenden anticlinales y sinclinales con rumbo aproximado N70E y N60E, de edad Eoceno Superior. Los sistemas de fallas que destacan estas estructuras son los siguientes: (Figura 5).

- a) Sistema de fallas de trazas con rumbo N70E, de edad Eoceno Superior.
- b) Sistema de fallas de trazas con rumbo N20E y N20W, de edad Eoceno Superior-Mioceno.
- c) Sistema de fallas El Pilar; comenzó a desarrollarse probablemente en un período de relajamiento posterior al evento tectónico que plegó la formación Chiguana (Mio-Plioceno), situada en la costa nororiental del Golfo de Cariaco. No tiene movimiento apreciable según el rumbo, considerándose un sistema de fallas normales. La edad de este sistema es Post-Plioceno al reciente.

Las rocas del complejo metamórfico han sufrido metamorfismo regular de bajo grado, definido por las subfacies cuarzo-albita-epidoto-biotita, siendo del tipo Barroviano.

Los accidentes tectónicos de mayor relieve en el complejo metamórfico lo constituyen los anticlinales antiformes y el sinclinal sinforme de rumbos N80E, N40E y N70E. Estas estructuras se encuentran fracturadas por tres sistemas de fallas:

- a) Sistemas de fallas longitudinales, de edad que oscila entre el Cretáceo Superior y el Eoceno, con trazas de rumbos N75W y N70E.
- b) Sistemas de fallas transversales, de edad que oscila entre el Post Eoceno al Plioceno, con trazas de rumbos N20E y N30E.
- c) Sistema de fallas El Pilar (descrito anteriormente).



Mapa geológico de la zona El Pilar, mostrando como las formaciones sedimentarias forman anticlinales y sinclinales

FIGURA 5

## 3.2 Geoquímica

### 3.2.1 Análisis geoquímicos de las fuentes

Se estudiaron 20 manifestaciones geotérmicas principales, aún cuando algunas de ellas consisten de varias emanaciones cercanas entre sí.

En la parte central de la zona, en una franja que se extiende con dirección E-W, se localizan abundantes manifestaciones geotérmicas representativas de la actividad hidrotermal características de la zona en cuestión (Figura 6).

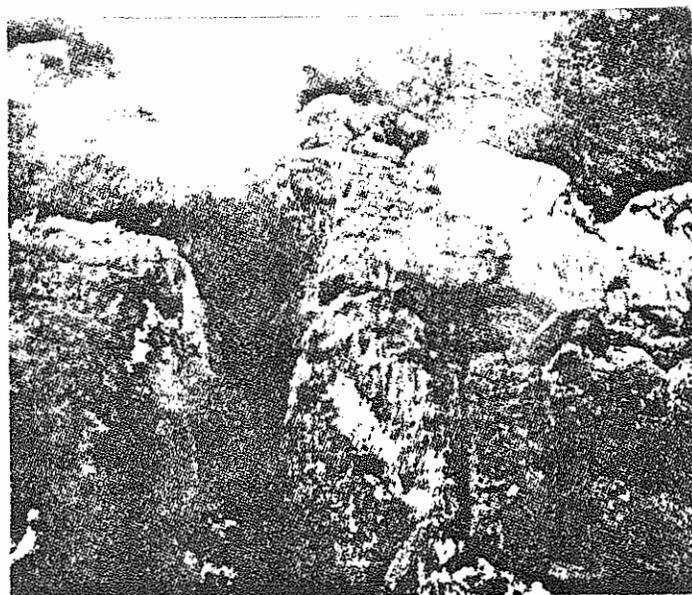
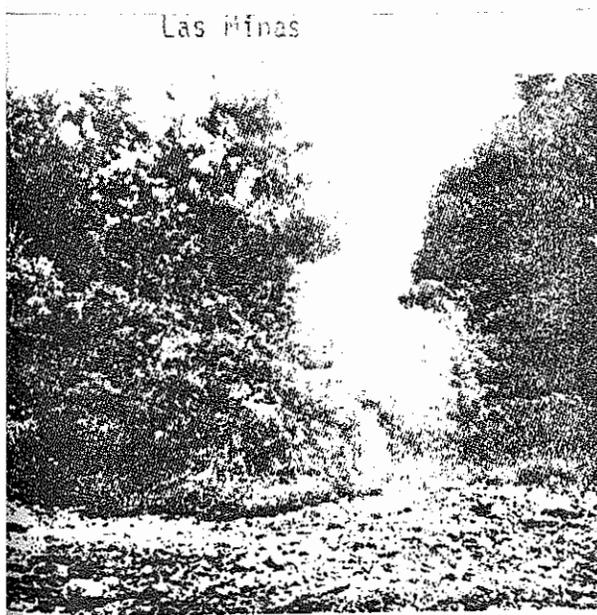
Entre estas manifestaciones sobresalen, por su magnitud y por las temperaturas medidas en el agua en la superficie, las siguientes:

Aguas Calientes

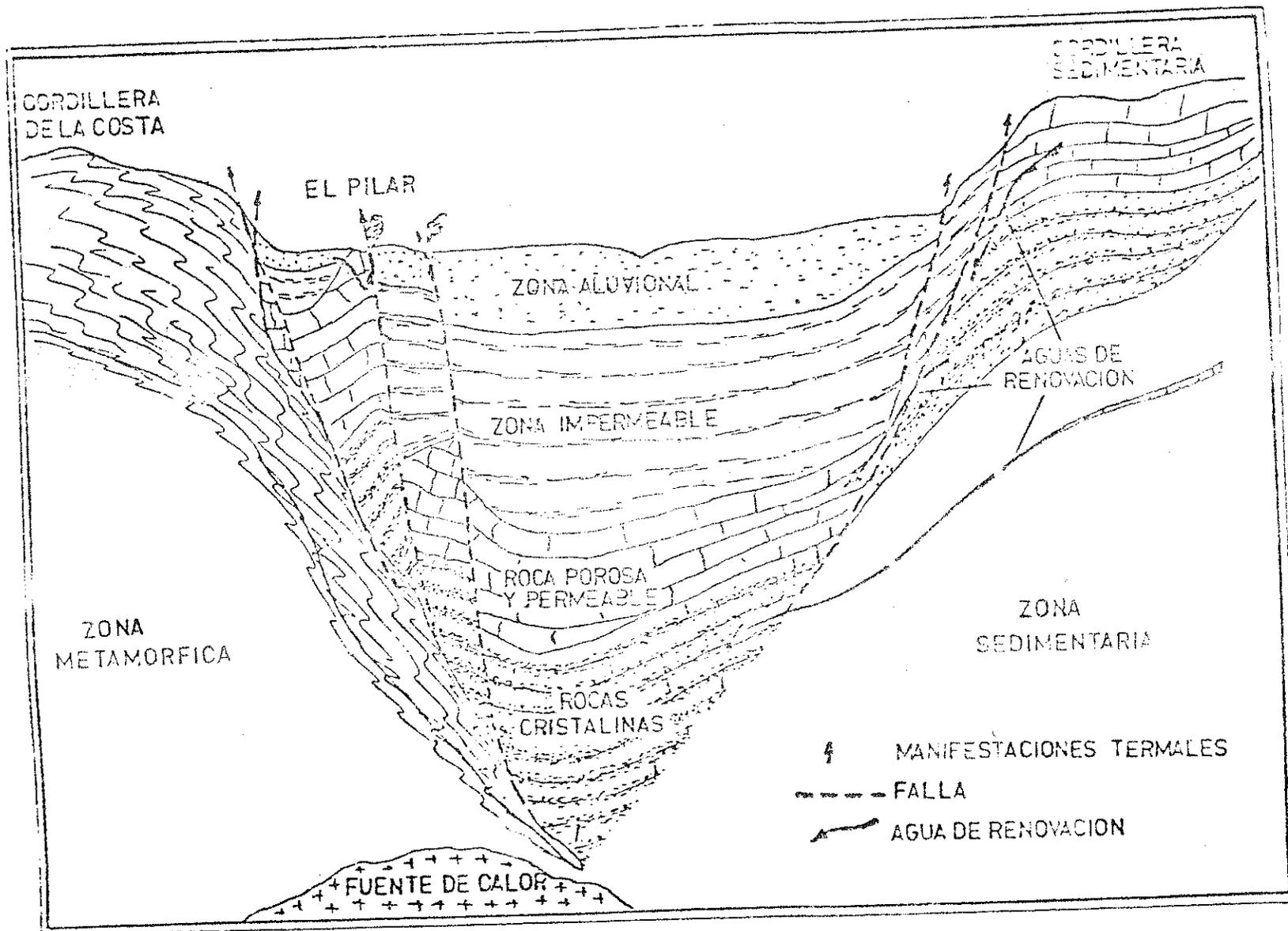
Las Minas

Los Chirriaderos

Las Pailas de Buena Esperanza



Las Pailas de Buena Esperanza



Corte Transversal del supuesto sistema hidrotermal existente en El Pilar

FIGURA 6

Existen en la zona otras manifestaciones geotérmicas, pero de menor tamaño y calidad. Las manifestaciones geotérmicas son impresionantes, pero esto no es demostrativo del potencial geotérmico utilizable en la producción de energía eléctrica, por lo tanto nos abocaremos a un estudio más especializado, ayudado por la geofísica, para determinar si las condiciones están dadas.

El estudio geoquímico se orienta a obtener las características esenciales, tratando de sintetizar la información de este tipo de aguas, sedimentos, depósitos minerales a fin de concluir sobre áreas prospectivas para estudios más detallados tanto geoquímicos como geofísicos. El trabajo de campo, tanto de cartografía geológica, como de recolección de muestras de aguas y de sedimentos fueron recogidas en dos series de muestras en tiempos consecutivos, cumpliéndose más tarde el trabajo de laboratorio con el análisis físico-químico de las aguas.

Los elementos Na, K y Ca fueron determinados por absorción atómica y  $\text{SiO}_2$  por calorimetría, el resto de los parámetros se analizaron por métodos convencionales.

Los sedimentos tanto del drenaje superficial como de las fuentes termales se analizaron para los elementos Cu, Pb, Zn, Cr, Co, V, Ti y Ni por espectrometría de rayos X.

Los depósitos minerales de las fuentes termales se estudiaron por difracción de rayos X, con la finalidad de conocer el régimen de deposición de la manifestación, y para el buen uso de los geotermómetros.

### 3.2.2 Geoquímica de los Sedimentos

Los sedimentos tanto del drenaje superficial como de las fuentes termales en forma resumida indican:

- a) La composición de los sedimentos es una consecuencia de la composición química y mineralógica de las unidades litológicas aflorantes.

- b) El elemento que por sí solo discrimina los diversos grupos de sedimentos es el Titanio, cual se explica por su ocupancia en forma diferencial en los minerales más comunes de las rocas aflorantes.
- c) El elemento plomo es aquel que presenta las anomalías más relevantes, sobre todo por haber muestras con órdenes de magnitud de 0.2 al 2%, lo cual es sumamente alto.

Estas muestras precisamente se localizan al NE, SE y E de El Pilar, definiendo una zona anómala en esta región.

Considerando la gran inmovilidad del Pb, se podría interpretar que ésta es la zona con las mayores temperaturas en el subsuelo, de la región estudiada.

### 3.2.3 Mineralogía de los depósitos minerales

Los minerales identificados por difracción de rayos X se clasificaron como sigue:

Silicatos: Cuarzo  
Opalo

Carbonatos: Calcita  
Aragonito

Sulfatos: Yeso  
Otro sulfato no identificado

Esta información sirve para interpretar, si ha habido pérdida de algunos de los elementos por precipitación de sus componentes, que puedan modificar los resultados de los geotermómetros.

Las manifestaciones con depósitos de  $\text{SiO}_2$  se interpretan que en el pasado fueron fuentes hirvientes, como ejemplo, en la zona de Las Minas y Mundo Nuevo, en diversos lugares hay este tipo de depósito típico de alta temperatura. Al sur del Río Casanay se han encontrado este tipo de depósitos que deben haber sido fuentes hirvientes en el pasado, indicando esto, un cambio en el régimen

geotérmico de la región en épocas relativamente recientes. En esta zona también hay lugares con gruesos montos de travertino similares a los existentes en la actualidad en la fuente de Santa Tecla.

#### 3.2.4 Características geotérmicas de las fuentes

En las interpretaciones presentadas en este aparte, sólo se utilizaron las fuentes objeto de estudio en la segunda serie, ya que son aquellas que se analizaron más rápidamente después de su recolección, además de haber medido en el campo el pH de las mismas.

Siguiendo el esquema de FOURNIER, las fuentes termales de la zona pueden clasificarse de la siguiente manera:

- a) Fuentes de caudal alto (no hirvientes y con descargas mayores de 100 lt/min.)

Dentro de esta categoría posiblemente caen las fuentes de Cristal de Pozo Azul, Palo Rosal y La Orchila, ubicadas en las cercanías del Caserío Pantoño, a unos 6 Km al oeste de Casanay. El geotermómetro de Na-K-Ca da temperaturas estimadas en un rango de 20° a 30°C por encima de la temperatura de las fuentes y la temperatura de SiO<sub>2</sub> del orden de los 70°C.

- b) Fuentes de bajo caudal (no hirvientes)

Dentro de esta categoría caen casi todas las fuentes de la zona. Este tipo son aquellas que presentan las mayores dificultades interpretativas, ya que no permiten soluciones definitivas, podrían ser aguas que nunca hayan sido muy calientes o aguas mezcladas de diferentes fuentes y diferentes temperaturas, además los geotermómetros tienden a dar temperaturas mínimas en este tipo.

c) Fuentes Hirvientes

En esta clase sólo caen las fuentes de los alrededores de los caseríos de Las Minas y Mundo Nuevo. En la fuente de Santa Tecla se midió la temperatura más alta de la zona, con 90°C y 31 ppm de SiO<sub>2</sub> que implica una temperatura de SiO<sub>2</sub> de 80°C y 180°C, según relación Na-K-Ca, pero debido a que las aguas precipitan opalo, calcita y granito, el uso del primer geotermómetro evidentemente de valores muy bajos y el segundo podría ser muy alto.

#### 4. CONCLUSIONES

El trabajo de investigación preliminar realizado en el área de estudio, aportó en su información los contrastes existentes en la zona de exploración, el cual permitió delimitar y especificar el programa de actividades a seguir. Como hecho concreto, se determinó el área prospectiva y patrones geoestructurales que permiten establecer hipótesis de investigación de prospección geotérmica en el área EL PILAR-CASANAY. El plan de actividades contempla la prospección detallada tanto de la geología superficial, como de la geoquímica y el inicio de los trabajos de geofísica e hidrología.

Los objetivos de las especificaciones en línea general, plantean en los trabajos a realizar los siguientes aspectos:

##### 4.1 Geología Superficial

Definir patrones geoestructurales de mayor relieve o significación para la fase de explotación y producción de campo.

##### 4.2 Geoquímica

Remuestreo analítico y sistemático de aguas y gases y la determinación del gradiente térmico.

##### 4.3 Geofísica

- a) Gravimetría
- b) Magnetometría
- c) Sondeos eléctricos verticales
- d) Perfiles sísmicos de refracción
- e) Procedimientos magneto-telúricos de 5 componentes.