

## GEOTERMIA EN VENEZUELA

Por Franco Urbani P.

Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería  
Escuela de Geología, Minas y Geofísica  
Caracas 1051, Venezuela

Escuela de Geología, Minas y Geofísica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Central de Venezuela

Toda correspondencia relacionada con este Boletín debe dirigirse a:

Comisión Editora GEOS  
Escuela de Geología, Minas y Geofísica  
Facultad de Ingeniería, U. C. V.  
Caracas, 1051 VENEZUELA

Para solicitud de canje y adquisición, favor dirigirse a:

Biblioteca  
Escuela de Geología, Minas y Geofísica  
Facultad de Ingeniería, U. C. V.  
Caracas, 1051 VENEZUELA

Depósito Legal: Biblioteca Nacional, Caracas: pp. 76-1309  
ISSN, París 0435 - 5601

RESUMEN . . . . .	página 7
ABREVIATURAS . . . . .	8
1. INTRODUCCION . . . . .	9
1.1. GENERALIDADES . . . . .	9
1.2. DEFINICIONES . . . . .	12
1.3. ORIGEN DE LAS MANIFESTACIONES GEOTERMICAS . . . . .	13
1.4. LA GEOTERMIA EN VENEZUELA . . . . .	14
2. METODOS DE EXPLORACION Y EVALUACION DEL POTENCIAL GEOTERMICO . . . . .	16
2.1. TRABAJO DE CAMPO . . . . .	16
2.2. METODOS DE LABORATORIO . . . . .	19
2.3. PROCESAMIENTO DE DATOS . . . . .	21
2.4. GEOTERMOMETROS QUIMICOS . . . . .	24
3. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DE VENEZUELA (Aspectos geológicos y descriptivos) . . . . .	57
3.1. CUENCAS DE LOS GOLFOS DE CARIACO-PARIA, SUCRE . . . . .	57
3.1.1. Sur de la Península de Paria . . . . .	57
3.1.2. Sur de El Pilar . . . . .	57
3.1.3. Oeste de El Pilar . . . . .	59
3.1.4. Cuenca del río Casanay . . . . .	62
3.1.5. Pantoño . . . . .	63
3.1.6. Santa Rosa - Putucual - Chacaracual . . . . .	64
3.1.7. Santa María . . . . .	65
3.1.8. Costa sur del golfo de Cariaco . . . . .	65
3.1.9. Los Ipures, sur de Cumaná . . . . .	66
3.1.10 Mochima - El Tacal . . . . .	66
3.1.11 Península de Araya . . . . .	66
3.2. SUR Y SURESTE DEL MACIZO ORIENTAL, MONAGAS . . . . .	70
3.2.1. Morros de Caripito . . . . .	70
3.2.2. Azagua . . . . .	70
3.2.3. NO de Quiriquire . . . . .	70
3.2.4. San Antonio - San Francisco . . . . .	71

3.3.	REGION OCCIDENTAL DEL MACIZO ORIENTAL, ANZOATEGUI	74
3.3.1.	Rio Amana, Mundo Nuevo . . . . .	74
3.3.2.	Urica . . . . .	74
3.3.3.	Bergantín - Querecual . . . . .	74
3.3.4.	San Diego- La Toma, río Neverí . . . . .	74
3.3.5.	Naricual - Araguita, río Neverí . . . . .	75
3.3.6.	Pozuelos - Provisor . . . . .	75
3.3.7.	Aguas Calientes, Clarines . . . . .	75
3.5.	ISLA DE MARGARITA . . . . .	76
3.5.	ESCUDO DE GUAYANA . . . . .	77
3.6.	CORDILLERA DE LA COSTA. . . . .	79
3.6.1.	FAJA COSTERA, D.F . . . . .	79
	Caruao . . . . .	79
	Quenepe . . . . .	79
	Chichiriviche . . . . .	80
3.6.2.	FAJA DE VALLES INTERMEDIOS. . . . .	85
	Las Trincheras - Mariara, Ca, Ar . . . . .	85
	Tácata, Mi . . . . .	90
	Guarenas, Mi . . . . .	90
	Villa de Cura - Belén, Ar . . . . .	92
	Colonia Mendoza, Mi . . . . .	92
	Caucagua y Juan Diaz, Barlovento, Mi . . . . .	93
	Batatal, Mi . . . . .	94
3.6.3.	FAJA SUR. . . . .	94
	San Juan de Los Morros - Cerro Pelón. . . . .	94
	Cantagal, Gu . . . . .	94
	Ortiz, Gu . . . . .	95
	Calabozo, Gu . . . . .	95
	Garumen, Gu . . . . .	95
	San Sebastián - San Casimiro, Ar . . . . .	96
	Taguay, Gu y Ar . . . . .	96
3.7.	REGION CENTRO-OCCIDENTAL. . . . .	98
3.7.1.	YARACUY . . . . .	98
3.7.2.	FALCON. . . . .	98
3.7.3.	LARA. . . . .	112
3.8.	REGION ZULIANA. . . . .	115
3.9.	REGION ANDINA Y SU PIEDEMONTE . . . . .	117
3.9.1.	TRUJILLO. . . . .	117
3.9.2.	MERIDA. . . . .	122
3.9.3.	TACHIRA . . . . .	132
3.9.4.	BARINAS . . . . .	138
3.9.5.	PORTUGUESA. . . . .	138

4.	INTERPRETACIONES GEOTERMICAS. . . . .	140
I. REGION ORIENTAL.		
4.1.	CUENCA DE LOS GOLFOS DE CARIACO-PARIA, SUCRE. . . . .	141
4.1.1.	Sur de la Peninsula de Paria. . . . .	142
4.1.2.	Sur de El Pilar . . . . .	146
4.1.3.	Aguas Calientes-Las Minas-Mundo Nuevo . . . . .	150
4.1.4.	Cuenca de río Casanay . . . . .	167
4.1.5.	Santa Rosa-Putucual-Chacaracual . . . . .	172
4.1.6.	Pantoño . . . . .	172
4.1.7.	Costa sur del golfo de Cariaco. . . . .	175
4.1.8.	Los Ipures, Sur de Cumana . . . . .	177
4.1.9.	Mochima y peninsula de Araya. . . . .	177
4.2.	SUR Y SURESTE DEL MACIZO ORIENTAL, MONAGAS. . . . .	181
4.2.1.	Región de Caripito. . . . .	188
4.2.2.	Región de Quiriquire. . . . .	188
4.2.3.	Región de San Antonio - San Francisco . . . . .	189
4.2.4.	Menes de hidrocarburos. . . . .	189
4.3.	OCCIDENTE DEL MACIZO ORIENTAL, ANZOATEGUI . . . . .	197
4.3.1.	Pozuelos - Provisor . . . . .	197
4.3.2.	San Diego, río Neverí . . . . .	203
4.3.3.	Naricual, río Neverí . . . . .	203
4.3.4.	Bergantín - Querecual . . . . .	203
4.3.5.	Mundo Nuevo, río Amana. . . . .	204
4.3.6.	Urica . . . . .	204
4.3.7.	Aguas Calientes . . . . .	204
4.4.	ESTADO NUEVA ESPARTA. . . . .	215
II. REGION SUR.		
4.5.	ESTADO BOLIVAR, TERRITORIOS AMAZONAS Y DELTA AMACURO . . . . .	215
III. REGION CENTRAL.		
4.6.	FAJA COSTERA, D.F. . . . .	216
4.6.1.	Chichiriviche . . . . .	216
4.6.2.	Quenepe . . . . .	217
4.6.3.	Caruao. . . . .	225
4.7.	FAJA DE VALLES INTERMEDIARIOS . . . . .	231
4.7.1.	Villa de Cura - Belén, Ar. y Ca . . . . .	231
4.7.2.	Zona de fallas Las Trincheras-Mariara . . . . .	231
4.7.3.	Tácata, Mi . . . . .	243
4.7.4.	Guarenas y Casupito, Mi . . . . .	244
4.7.5.	Colonia Mendoza y Juan Diaz, Mi . . . . .	244

4.8. FAJA SUR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA . . . . .	255
4.8.1. San Juan de Los Morros, Cerro Pelón, San Sebastián, San Casimiro, Ortiz, Ca- labozo y Taguay, Gu. Ar . . . . .	255
4.8.2. Guarumen, Gu . . . . .	260
4.8.3. Batatal, Mi . . . . .	263
IV. REGION OCCIDENTAL. . . . .	
4.9. ESTADO FALCON . . . . .	267
4.9.1. San Juan de La Vega . . . . .	267
4.9.2. La Vela de Coro . . . . .	269
4.9.3. Siburúa - Meachiche - San Antonio . . . . .	270
4.10. ESTADO LARA . . . . .	274
4.10.1. "Los Volcanes" de Sanare y San Miguel . . . . .	274
4.10.2. Los Baños, Palmarito . . . . .	276
4.11. ESTADO ZULIA. . . . .	278
4.12. ESTADO TRUJILLO . . . . .	280
4.12.1. El Baño, Motatan . . . . .	280
4.12.2. Agua Viva, Aguas Calientes, Valerita . . . . .	280
4.12.3. Cuenca de Monay . . . . .	281
4.13. ESTADO MERIDA . . . . .	281
4.14. ESTADO TACHIRA (Aguas Calientes, Ureña) . . . . .	289
4.15. ESTADO PORTUGUESA . . . . .	290
4.16. TOPICOS DIVERSOS:	
4.16.1. Emanaciones de hidrocarburos . . . . .	296
4.16.2. pH y conductividad de las aguas fuentes termales . . . . .	297
4.16.3. Depositos minerales . . . . .	300
4.16.4. Composición química de gases y composi- ción isotópica de aguas termales de la región Oriental . . . . .	301
4.16.5. Composición química de sedimentos de fuentes termales . . . . .	305

5. SUMARIO Y CONCLUSIONES. . . . .	308
5.1. Sumario de las características de las manifes- geotérmicas venezolanas . . . . .	308
5.2. Distribución de las manifestaciones geotérmi- cas (control tectónico y estratigráfico) . . . . .	311
5.3. El agua de las manifestaciones geotérmicas: origen y su mineralización . . . . .	318
5.4. Origen de la termalidad . . . . .	322
5.5. Aplicaciones de los recursos geotérmicos de Venezuela . . . . .	325
5.5.1. Aplicaciones energéticas . . . . .	325
5.5.2. Aplicaciones no energéticas . . . . .	325
5.6. Recomendaciones . . . . .	328

#### BIBLIOGRAFIA. . . . .

#### NOTA:

Esta obra va acompañada de otros dos tomos, a saber: Tomo 2, Banco de Datos Geotérmicos; Tomo 3, mapa Geotérmico de Venezuela. Por su extensión estas partes no se han podido publicar, pero pueden ser consultadas en las siguientes bibliotecas: UCV-Escuela de Geología UCV - Biblioteca Central, MEM - CAIDE, CADAFE.

## RESUMEN

El presente trabajo consiste en una evaluación de los recursos geotérmicos del país, a través del estudio de las manifestaciones geotérmicas, y se fundamenta en la compilación de un Banco de datos geotérmicos, y del Mapa Geotérmico de Venezuela, con el subsecuente procesamiento y evaluación de los datos. Para el oriente y el centro, la información proviene del *Inventario Geotérmico Nacional*, mientras que en occidente se basó principalmente en publicaciones e informes.

La información agrupada en *sistemas geotérmicos*, fue analizada por métodos de geotermómetros químicos, estimando temperaturas máximas de los posibles reservorios que alimentan las fuentes termales. Esta información, con la geología, e hidrología del área, permite en la mayoría de los casos formular modelos esquemáticos geológico-hidrológicos.

Del estudio se concluye que las fuentes termales del país se distribuyen formando franjas, paralelas a las principales zonas de fallas que limitan o cortan las cordilleras, a saber falla El Tigre, Perijá; fallas de Boconó, Caparo, Las Virtudes y Valera, en los Andes; fallas de Morón, La Victoria, Santa Rosa, Tácata, Guárico y corrimiento frontal, en la Cordillera de la Costa; fallas de El Pilar, San Francisco y Urica, en Oriente. A nivel local los brotes pueden estar controlados por características tectónicas o estratigráficas no relacionadas con las grandes fallas.

Los sistemas geotérmicos en los cuales se estimaron las mas altas temperaturas ( $> 120^{\circ}\text{C}$ ), se agrupan como sigue:

(1) *Sistemas asociados a grandes geo fracturas*: Cumaná-Casanay, Su., falla de El Pilar ( $120\text{--}150^{\circ}\text{C}$ ); Chichiriviche-Carua, D.F., fallas de Morón ( $145\text{--}165^{\circ}\text{C}$ ); falla de Las Trincheras-Mariara-El Castaño, Ca. ( $220\text{--}145^{\circ}\text{C}$ ); fumarolas de Sanare-San Miguel, La., falla de Boconó ( $115^{\circ}\text{C}$ ); Los Baños de Guanare, Po. ( $190^{\circ}\text{C}$ ); fuentes de la zona de fallas de Valera y Sabanas de Monay, Tr., La., Zu. ( $>110^{\circ}\text{C}$ ). Estos se consideran como *sistemas geotérmicos tectónicos*, donde las aguas se calientan por una profunda infiltración, por efecto esencialmente del gradiente geotérmico normal del área.

(2) *Fuentes de Guarumen, Gu. y Batatal, Mi.*, al sur de la Cordillera de la Costa, posiblemente originadas por una zona termalmente anomala y geopresurizada.

(3) *Fuentes de Mundo Nuevo-Las Minas-Aguas Calientes, Su.*, donde se han interpretado altas temperaturas en el subsuelo ( $250 < t(r) < 320^{\circ}\text{C}$ ), probablemente originadas por el efecto combinado de: la intersección de tres grandes lineamientos regionales, con la posible cercanía de un cuerpo plutónico en proceso de enfriamiento, que produce un gradiente geotérmico anormalmente alto en la región. Según el modelo propuesto, esta es la zona mas propicia para continuar los estudios a los fines de generación de energía eléctrica. Se propone la ubicación de un pozo exploratorio para la evaluación geotérmica.

## ABREVIATURAS

### 1) Notación utilizada.

t o T	temperatura
t(c)	T medida en el campo
t(r)	T del reservorio geotérmico
t(geo)	T estimada por geotermómetros químicos
t(SiO <sub>2</sub> )	T de los geotermómetros con las fases de SiO <sub>2</sub>
t(cz)	T geotermómetro de cuarzo enfriamiento conductivo
t(cal)	T " calcedonia "
t(alc)	T " Na-K-Ca o Na-K-Ca-Mg
t(Na-K-Ca)	T Na-K-Ca
t(Na-K-Ca-Mg)	T Na-K-Ca-Mg
t(Na/Li)	T Na/Li
t(wsmm)	T del modelo de mezcla de fuentes tibias
t(bsmm)	T " " " " hirvientes
t(???)m	T máxima estimada por el geotermómetro ???
t(m)	T máxima
t(ma)	T media anual
t(eb)	T de ebullición
[Los parentesis arriba señalados solo se pondrán en el texto, pero no en las figuras].	
$\bar{t}, \bar{x}$ , etc	Promedios de las variables indicadas
TSD	Total de sólidos disueltos
mg/l	miligramos por litro
meq/l	miliequivalentes por litro
l/min	litros por minuto
ppm	partes por millón, esencialmente equivalente a mg/l o mg/Kg.
r	coeficiente de correlación
P	presión
H	entalpía

### 2) Símbolos químicos.

HC<sub>03</sub>, SO<sub>4</sub>, Ca, etc. Se escribirán en un solo nivel y sin los signos correspondientes a las cargas, por no permitirlo la procesadora de palabras utilizada.

HCO<sub>3</sub>

(La anterior sería la única forma para presentarlos correctamente, pero interrumpiría innecesariamente el texto).

3) A través de los capítulos 1 al 5, se hará continua referencia a tablas y figuras contenidas en el tomo II de este trabajo, para ello se utilizará la siguiente forma abreviada:

IIt43, para indicar la tabla que aparece en la página 43 del tomo II.

IIf242, para indicar una figura de la página 242 del tomo II.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. GENERALIDADES

#### 1.1.1. El flujo calórico

Desde la mas remota antiguedad, la vista del cielo estrellado y de la gran diversidad de fenómenos naturales de nuestro planeta, dio lugar para que los filósofos postularan ideas cosmológicas, así como las mas discípulas explicaciones para fenómenos comunes, entre ellos el volcanismo y las fuentes termales. Por ello, el estudio (o especulaciones) sobre las temperaturas del interior de la tierra tiene una larga historia. Una de las primeras referencias conocidas en relación a las altas temperaturas del interior del planeta se debe a J.B. MORIN y data de 1619, pero la primera discusión tanto moderna y sistemática fue la de Robert BOYLE quien en 1671, publica un notable trabajo titulado *Discourse of subterranean fires and heats*.

El tema es poco desarrollado durante el siglo XVIII, pero alcanza gran interés en los períodos comprendidos desde 1868 - 1883 y 1935 - 1939, a través de los comités científicos de la British Association y los resultados de los cálculos de Lord Kelvin sobre la edad y pasado histórico de la tierra, obteniendo un relevante éxito, no solo por su carácter científico, sino también por su aplicación práctica en la comprensión del origen de los depósitos minerales.

Ciertamente, hoy en dia tampoco se tiene un conocimiento directo de la distribución del calor y sus fuentes dentro de la tierra, o de las proporciones en que el calor es transportado por conducción, radiación o convección. A pesar de esto, existe una notable evolución en el conocimiento del comportamiento térmico de la tierra a través de trabajos basados en consideraciones termodinámicas, en la teoría del estado sólido, y en detallados cálculos de la historia térmica de la tierra. Esas discusiones establecen algunos límites para las temperaturas estimadas como existentes en el interior, dando una nueva dimensión a las investigaciones sobre el flujo de calor, sobre la hipótesis de convección del manto y sobre variaciones geomagnéticas.

La transferencia gradual de la energía térmica del interior a la superficie de la tierra, denominado *flujo de calor*, es un proceso que desencadena diversos fenómenos geológicos. El flujo de calor se expresa en la relación del aumento de temperatura con la profundidad, o *gradiente geotérmico*, estando también relacionado a la conductividad térmica de las rocas presentes. Desde las primeras determinaciones del flujo calórico en Inglaterra y África del Sur en 1939, el numero de observaciones ha ido creciendo considerablemente en la última década, principalmente debido a medidas realizadas en las cuencas oceánicas.

LEE y UYEDA (1965) presentan un resumen de 3000 medidas de flujo calórico, concluyendo que: (1) el flujo de calor es generalmente bajo en escudos Precámbrios, medio en cuencas sedimentarias intercratónicas y alto en muchas áreas orogénicas Mezozoicas - Cenozoicas. (2) Los océanos y continentes parecen tener un mismo flujo calórico promedio de aproximadamente 1,5 micro cal/cm<sup>2</sup>. (3) En las zonas de rift el flujo calórico es alto, disminuyendo al alejarse del mismo. (4) Las cuencas sedimentarias, presentan una gran variedad de situaciones y estilos tectónicos, así como muchas diferencias en el flujo de calor.

#### 1.1.2. Aplicaciones no energéticas de la geotermia

El uso por parte de la especie humana, de fenómenos naturales debidos al calor interno de nuestro planeta se conoce desde la mas remota antiguedad; así, los manantiales de aguas calientes fueron lugares predilectos de concurrencia, y en los escritos más antiguos de las culturas orientales se menciona el uso de estas aguas para fines fundamentalmente medicinales. Igual ocurre con todas las demás culturas desarrolladas posteriormente, como las de Asia menor, Grecia, Roma, etc. Así mismo, en el siglo XIX fueron ampliamente utilizadas en todas partes del mundo tanto las aguas termales como las minerales. Lamentablemente, en el presente siglo con el desarrollo de fármacos basados esencialmente en procesos químicos de extracción de compuestos activos de plantas y animales, así como la sintetización de los mismos, ha hecho que el interés médico en la hidroterapia y balneoterapia, haya disminuido notablemente. Pero en muchos países, sobre todo aquellos de Europa Oriental (Rumania, Bulgaria, Hungría, Checoslovaquia y otros), las técnicas médicas hidrotermales han alcanzado un alto grado de desarrollo, especialmente en los campos relacionados con fisioterapia, artritis y gastroenterología.

Además del uso médico-turístico de las fuentes termales existen numerosas aplicaciones no energéticas, y para citar solo algunas mencionaremos el secado de productos agrícolas, la calefacción ambiental en países de clima frío, y procesos industriales que requieran aguas calientes como paso previo para la generación de vapor, utilizable en calderas y en diversas aplicaciones.

En Venezuela el único uso que se le ha dado a las fuentes termales, es justamente el médico y turístico, aunque en forma empírica, sin control médico adecuado de los pacientes, y con instalaciones deficientes para tales fines, esto inclusive en las fuentes más famosas como Trincheras, San Juan de los Morros, Motatán y Ureña. Además de los usos médicos señalados, solo hemos visto el casi pintoresco uso de las aguas termales en lugares de lavado de ropa públicos, y un curioso caso de calentamiento de una incubadora de huevos, en una pequeña industria avícola del área de No Carlos, Tunapuy, estado Sucre.

### 1.1.3. Aplicaciones energéticas de la geotermia

En la actualidad y a nivel mundial hay un gran interés en el campo de la geotermia, debido fundamentalmente a la necesidad de casi todos los países, de buscar fuentes alternas de generación de energía eléctrica, a fin de reducir la dependencia del consumo de petróleo.

Los esfuerzos pioneros en esta línea de investigación se deben al grupo Italiano que desarrollo y puso en funcionamiento en 1942 la primera planta eléctrica basada en la utilización del vapor geotérmico, ubicada en la hoy famosa localidad de Larderello, Italia. E igualmente en las ultimas décadas se han puesto en funcionamiento numerosas plantas eléctricas con energía geotérmica en Nueva Zelanda, USA, Islandia, Japón, México, El Salvador, Nicaragua, etc.

En Venezuela aún no hay ninguna planta geotérmica de generación de electricidad, pero como se indicará en este trabajo hay zonas de gran interés y muy prospectivas para estos fines, fundamentalmente en la zona de El Pilar, estado Sucre.

### 1.2. DEFINICIONES

En el campo de la geotermia hay diversos términos que se utilizan con mucha frecuencia que conviene sean definidos, ya que los mismos no tienen una aceptación internacional uniforme:

**Agua termal.** Aguas subterráneas que en su punto de emergencia poseen una temperatura **mayor** que la temperatura media anual local. Sobre qué tanto **mayor** hay mucha diferencia de opiniones, WHITE (1957) propone 5 C por encima de la media anual, y este criterio es ampliamente utilizado en la literatura de U.S.A. Opinamos que más que usar estrictamente un criterio cuantitativo como el anterior, es preferible analizar las condiciones locales como son el intervalo de variación anual de la temperatura local, y la variación anual o estacional de la temperatura del agua en consideración. En el caso del presente trabajo, hemos utilizado el criterio de que la temperatura del agua sea mayor a la media anual.

Se han establecido muchas clasificaciones de las aguas termales según la temperatura, en especial aquellas que emplean los prefijos hipo, meso e hiper. En este trabajo hemos preferido utilizar una clasificación más sencilla, pero de más fácil comprensión, a saber: **agua fría** cuando tienen una temperatura menor o igual a la temperatura media anual [ $t(ma)$ ]. **Agua tibia** con un intervalo de T desde  $t(ma)$  hasta 37 C. **Agua caliente** cuando T varía desde 37 a 60 C. **Agua muy caliente**, desde 60 a 100 C.

**Agua mineral.** Segun CADISH (1969) un agua mineral es aquella

con un residuo seco superior a 1 g/l, o que sin tener tal cantidad de residuo, tengan mas de 1 mg/l de Li; 5 mg/l de Fe; 10 mg/l de Sr; 1 mg/l de I; 2 mg/l de F; 1,2 mg/l de HAsO<sub>4</sub>, etc. Si no se posee la información sobre el residuo seco, se puede utilizar el total de sólidos disueltos (TSD) en exceso a 1 g/l.

**Agua termomineral.** Es aquella que cumple con los requisitos de las dos definiciones anteriores, es decir, un agua subterránea que en la emergencia tiene una temperatura superior a la media anual local, y que tenga un TSD superior a 1 g/l, o con una mineralización fuera de lo común, principalmente en lo que respecta a gases (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, etc.).

**Aguas sulfurosas.** Dentro de esta categoría se incluyen a las aguas subterráneas, que independientemente a su temperatura en el punto de emergencia posean una o mas de las siguientes características: olor a H<sub>2</sub>S, que presenten depósitos de azufre, que en la emergencia se encuentren plantas que viven en un ambiente rico en compuestos de azufre (como es el caso de algunas algas de aspecto filamentoso, blancas y jabonosas al tacto), y que el análisis indique alto contenido de algún compuesto de azufre (SO<sub>4</sub>, SO<sub>3</sub>, S, H<sub>2</sub>S, etc.).

**Manifestación geotérmica.** Término general que se refiere a toda expresión superficial formada por la acción de fluidos (agua líquida, vapor de agua, o gases diversos) procedentes de algún "reservorio" caliente a profundidad. Los tipos más comunes son las fuentes termales, fumarolas, geysers, zonas de alteración (e.g.: azufrales o "sulfataras"), emisiones de gases o vapor (e.g.: "sofioni", "mofetas"), manantiales de aguas frias en que se tenga evidencia de que proceden de acuíferos calientes o con evidencia histórica de mayores temperaturas en el pasado. En el presente trabajo, dentro de esta categoría siempre se incluyen a los manantiales de aguas sulfurosas.

**Reservorio.** Se entiende como el acuífero de agua caliente (y/o vapor) que alimenta las manifestaciones geotérmicas observadas en superficie. El acuífero puede ser de tipos muy diversos, pero principalmente de rocas sedimentarias con permeabilidad primaria intergranular, o en rocas con permeabilidad secundaria debido a fracturamiento.

**Sello.** Bajo esta denominación informal se designa cualquier tipo y espesor de rocas, esencialmente impermeables, ubicadas por encima del reservorio, que mantengan a los fluidos contenidos en éste total o parcialmente confinados.

El desarrollo de estos dos términos se debe a la creciente exploración de recursos geotérmicos para generación de electricidad, y son similares a los conceptos de trampas petrolíferas (estructurales y estratigráficas).

**Sistema geotérmico.** Esta expresión de mucho uso fue definida acertadamente por WHITE et al. (1971: 75), como sigue: un sistema geotérmico incluye una fuente de calor dentro de la

#### 1.4. LA GEOTERMIA EN VENEZUELA

corteza terrestre (flujo de calor regional o intrusión ígnea local), y las rocas y agua afectadas por tal calor. Cuando un sistema geotérmico envuelve aguas circulantes, éstos también se llaman sistemas hidrotermales. La parte caliente de cada sistema hidrotermal es comúnmente enfatizada, pero en su significado más amplio las partes marginales envuelven flujo descendente de agua fría, y también se incluyen. Un área de fuentes termales es la expresión superficial de un sistema geotérmico, y pueden contener diversos tipos de manifestaciones geotérmicas.

#### 1.3. ORIGEN DE LAS MANIFESTACIONES GEOTERMICAS

El problema geológico básico que se plantea con el origen de las manifestaciones geotérmicas, pudiera subdividirse en: origen de la termalidad, origen de la mineralización, control geológico de su ubicación, origen del agua propiamente dicha y su ciclo hidrológico, y la relación de la manifestación con otros aspectos geológicos como la tectónica, magmatismo, etc.

La solución de tales problemas no puede ser abordada sin estudios detallados, descriptivos y analíticos del mayor número de manifestaciones posible. En la línea de investigación sobre la problemática y origen de las manifestaciones geotérmicas hay numerosos estudios particulares y generales, pero solo haremos algunos extractos de los siguientes: LAUNAY, (1898) y URBAIN (1967):

- La ubicación de las manifestaciones geotérmicas activas, en su mayoría está relacionado a fallas, y fundamentalmente en la intersección de las mismas, con lugares topográficamente bajos. En muchas otras partes del mundo, hay una estrecha relación con fenómenos volcánicos actuales o muy recientes.

- Los componentes químicos presentes en las aguas son muy numerosos, y en proporciones extremadamente variables, existiendo diversas clasificaciones basadas en los principales elementos en solución.

- La evidencia experimental indica que la mayor parte de los componentes químicos presentes en las aguas termales, pueden proceder de las rocas por donde estas circulan, debido a procesos de lixiviación (disolución, hidrólisis, etc.).

- La termalidad es atribuida principalmente al gradiente geotérmico normal del área, aun cuando en muchas zonas se han detectado flujos calóricos anormalmente altos, ya sea por actividad magmática joven o por tectonismo activo.

- El análisis isotópico de las aguas termales indica que el agua es fundamentalmente de origen meteórico (quizás en más del 95% de los casos).

A través de diversas citas muy escuetas, se conoce que los indígenas venezolanos, aun antes de la llegada de los conquistadores españoles, ya usaban algunas fuentes termales para fines medicinales. Posteriormente en los siglos XVI, XVII y XVIII dichas aguas han sido usadas esporádicamente por los pobladores con los mismos fines, citándose especialmente las afecciones de la piel.

Al igual que en tantas otras disciplinas científicas, es Alejandro de HUMBOLDT quién publica los estudios pioneros sobre las aguas termales de Venezuela, señalando con especial detalle las fuentes del área de Cariaco - Cumaná, y las de Mariara y Las Trincheras en el estado Carabobo. Esta última localidad la visita en la mañana del 27 de febrero de 1800, escribiendo una descripción muy detallada que aun en trabajos de la primera mitad del presente siglo, se seguía copiando textualmente por ser la más completa existente.

Posteriormente a HUMBOLDT, siguen descripciones con mayor o menor grado de detalle, de científicos de diversas disciplinas y muy conocidos por sus obras, como son Agustín CODAZZI, Manuel Vicente DIAZ, Adolfo ERNST, Hermann KARSTEN, Vicente MARCANO, W. SIEVERS, O. DALY, Arístides ROJAS, Francisco de Paula ALAMO y muchos otros todos del siglo XIX.

Dentro de este grupo de científicos, cabe destacar a Vicente MARCANO (1848-1891) quien fue uno de los científicos venezolanos más notables del siglo XIX, con numerosas publicaciones en química pura y aplicada (a geología, farmacia, alimentos). Es el primer químico venezolano que se dedica a analizar sistemáticamente las aguas potables y termominerales de Venezuela con técnicas cuantitativas. Los análisis de aguas los inicia en 1874, aunque solo empieza a publicar resultados en 1876, con un estudio de las aguas que alimentan a Caracas. El mismo año publica en el diario *La Opinión Nacional*, artículos muy completos sobre las aguas termales de Gurumen (Guárico), Los Ipures (Cumaná) y Guadalupe (Falcón). Para la Exposición Universal de París de 1879, V. Marcano expone muestras de las siguientes fuentes y publica algunos resultados: Guadalupe (Falcón), Pozo del Chorro, Quenepe, Germán, Mapurite y Pozo de Piedra (D.F.), Chaguaramas e Ipures (SUCRE), Batatal y Sucre (Miranda), Barcelona (Anzoátegui), Trincheras (Carabobo), San Juan de los Morros, Camatagua y Guarumen (Guárico) y La Mineral y Valle Seco (Aragua). Años más tarde colecta y lleva a la Exposición Universal de París de 1889, muestras de las siguientes fuentes: Campo Alegre y La Peñita (Villa de Cura), San Juan de los Morros y seis de Guarumen.

En el presente siglo (hasta fines de la década de 1960), son muy relevantes los trabajos de Alfredo JAHN, G. FEBRES-CORDERO, O. OSTOS, G. DELGADO PALACIOS, V.M. LOPEZ, A. OTERO, L. PRADO, T. BRICENO MAAS y otros, todos ellos autores de trabajos

muy detallados y precisos sobre fuentes del estado Anzoátegui, región Central y cordillera Andina.

En 1969 en la Escuela de Geología y Minas, U.C.V., se inician los estudios geológicos de varias fuentes termales de la región Central, y en 1975 se firma un convenio UCV-CADAFE, para realizar estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos del distrito geotérmico de El Pilar - Casanay, como una exploración preliminar con miras a la generación de energía eléctrica. En este trabajo se concluyó que la zona con mayores posibilidades de éxito, es la de Aguas Calientes - Las Minas - Mundo Nuevo, y en las reuniones sostenidas se mantuvo la idea de la necesidad de perforaciones exploratorias. Lamentablemente, por razones internas y políticas el proyecto fue descontinuado por CADAFE.

Simultaneamente con el anterior proyecto, CORPOTURISMO llevó a cabo estudios de las principales fuentes termales de Venezuela, para su valoración desde un punto de vista turístico y médico, publicando un libro que resume estas investigaciones, el cual contiene numerosos análisis químicos de fuentes termales (VILLARROEL, 1976).

A partir de 1980, tanto en la UCV como en el MEM, se reanuda el interés por la geotermia. La UCV con financiamiento de FONINVES, CDCH y CONICIT, llevan a cabo el proyecto *Inventario Geotérmico Nacional* en las regiones Sur, Oriental y Central de Venezuela. En la ULA se estudiaron las manifestaciones geotérmicas de la región Andina. En el MEM, se crea el Comité Geotérmico Nacional, adscrito a la Dirección de Electricidad, Carbón y otras Energías, a cargo del proyecto de evaluación del potencial geotérmico de la zona de El Pilar - Casanay, trabajando en él personal del MEM, MARNR, CADAFE y de la UCV.

Gracias al financiamiento de CONICIT, en 1981 se crea en el Dept. de Geología de la U.C.V., el *Centro de Documentación e Información Geotérmico Nacional*, que publica el boletín informativo trimestral *GEOTERMA*, cumpliendo así una necesaria labor divulgativa. En 1983 hacen entrega de sus respectivos trabajos especiales de grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, los bachilleres G. ZANNIN, N. MARINO, J.A. RODRIGUEZ, A. FERMIN, A. HEVIA y N. DI GIANNI, relativo al *Inventario Geotérmico* detallado de las regiones Oriental y Central, el cual contiene minuciosas descripciones e información geoquímica de las manifestaciones geotérmicas de la región. Estos trabajos son los pilares básicos, para cualquier estudio futuro serio de la geotermia de esta parte de Venezuela. Así mismo se espera poder continuar con la segunda parte del mismo proyecto, cubriendo la región occidental del país.

## 2. METODOS DE EXPLORACION Y EVALUACION DEL POTENCIAL GEOTERMICO

### 2.1. TRABAJO DE CAMPO

El trabajo básico en que se fundamenta este informe lo constituye el proyecto *Inventario Geotérmico Nacional*, que fuera realizado en las regiones Oriental, Sur y Central de Venezuela, bajo la coordinación del autor, y por intermedio de seis tesis de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la U.C.V., a saber:

area	autores (referencia)	financiamiento
Monagas	G. ZANNIN y N. MARINO (1983)	FONINVES, CDCH-UCV
Anzoátegui	J.A. RODRIGUEZ (1983)	FONINVES, CDCH-UCV
Sucre	A. HEVIA y N. DI GIANNI (1983)	FONINVES, CDCH-UCV
Centro	A. FERMIN (1983)	CONICIT, MARNR

El inventario consistió en el estudio descriptivo detallado de 'todas' las manifestaciones geotérmicas de la región, incluyendo manantiales fríos sulfurosos, siguiendo en esta etapa un esquema de estudio que se reproduce en la tabla 1.

En la región Andina, desde el año 1980 han venido trabajando un grupo de profesionales coordinados por J.L. BURGUERA, que han publicado diversos artículos referentes a las fuentes termales de Mérida y Táchira (BURGUERA et al., 1981, 1982, 1983). La mayor parte de la información que presentamos del estado Mérida, procede de los citados informes.

La información de los estados Táchira, Trujillo, Lara, Barinas, Portuguesa, Zulia y Yaracuy, y gran parte de la del estado Falcón, procede de la literatura, siendo generalmente muy incompleta, fallando tanto en los aspectos descriptivos como de ubicación y en muy pocos casos, se dispone de datos de temperatura y composición físico-química de las aguas, a excepción de las fuentes de Ureña y Motatán.

Durante la ejecución de la etapa de campo del proyecto *Inventario Geotérmico Nacional* en las regiones Oriental y Central, se emplearon los siguientes equipos:

- pH-metro portátil, con soluciones de calibración de pH 4 y 7.
- Termómetro con graduaciones de 1 °C, pudiéndose apreciar fácilmente la fracción de 0,5 °C.
- Ácido nítrico bidestilado.
- Botellas de polietileno de 1 lt y de 250 ml.
- Otros equipos convencionales para trabajos de campo.

## GUIA PARA TOMAR INFORMACION EN MANIFESTACIONES GEOTERMICAS

TABLA 1

<b>1.- Número de la manifestación.</b>	Sigla del estado: SU, MO, AN, DA y número secuencial. Pintar con pintura spray el Nº (en forma discreta).
<b>Nombre de la(s) manifestación(es).</b>	
<b>2.- LOCALIZACION.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2.1. Caserío, pueblo o sitio más cercano.</li> <li>2.2. Pueblo importante o ciudad más cercana.</li> <li>2.3. Municipio, Distrito, Estado.</li> <li>2.4. Localización general descriptiva (de la zona).           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicación en referencia a pueblos.</li> <li>- Señalar kilómetros y tiempos.</li> <li>- Tipos de carreteras y accesos.</li> </ul> </li> <li>2.5. Localización local descriptiva.           <ul style="list-style-type: none"> <li>Idem, pero para la(s) fuente(s) en particular.</li> </ul> </li> <li>2.6. Coordenadas UTM. N. ____ y E. ____ Zona ____.</li> <li>2.7. Cota sobre el nivel del mar: ____ m.</li> <li>2.8. Mapa consultado para 2.6. y 2.7. Nº hoja, nombre, escala, organismo que lo publicó.</li> </ul>
<b>3.- ASPECTOS GEOMORFOLOGICOS Y GEOGRAFICOS.(del área general)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3.1. relieve.</li> <li>3.2. Drenaje, (tipo y caudal de ríos y quebradas, permanentes, temporales, suelos, limpias, etc.)</li> <li>3.3. Vegetación, (tipos, distribución, etc.)</li> <li>3.4. Clima, (anotar y preguntar nombre de estaciones registradoras de datos meteorológicos más cercanas, luego en la región buscar la información de dichas estaciones). Estaciones, su variación, temperatura, vientos, precipitación, etc.</li> </ul>
<b>4.- ASPECTOS GEOLÓGICOS.(del área general).</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4.1. - Elaborar una o más secciones geológicas (y columnas estratigráficas) en las carreteras o quebradas más cercanas de la(s) manifestación(es). Tratar de que aparezcan también las mismas litologías de la zona de la(s) manifestación(es), para luego comparar.</li> <li>- Determinar la estructura de la zona. Comparar con los mapas existentes.</li> <li>- Elaborar croquis geológicos y cortes, en caso de valles, estimar espesor y extensión de aluvión, ver si hay terrazas.</li> <li>- Formaciones aflorantes.</li> <li>- Muestreo.</li> </ul>
<b>5.- OBSERVACIONES DE LA(S) MANIFESTACION(ES).</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>5.1. <b>Tipo de manifestación.</b> Señalar ex emanaciones de agua o caliente, emanación de agua fría, emanaciones de gas (inflamable o no), mareas de hidrocarburos líquidos, azufre, fumarola, volcán de barro, zona de suelo caliente o combinaciones, etc.</li> <li>5.2. <b>Ubicación precisa de la manifestación.</b> Elaborar Croquis y notas, señalando claramente la ubicación, sea en zona de afloramientos rocosos, en aluvión, dentro de quebrada y posición respecto al río o quebrada más cercana.</li> <li>5.3. <b>Descripción de la manifestación.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>5.3.1. Aspecto general. Tipo de emanación: puntual, difusa, charco estancado, etc.</li> <li>5.3.2. Dimensiones. (En caso de manantiales describir el punto de emanación, poros circunvecinos y el canal de desagüe hasta la quebrada más cercana. Notar variaciones a lo largo del canal).</li> <li>5.3.3. Dosecarga estimada.</li> <li>5.3.4. Olor.</li> <li>5.3.5. Sabor.</li> <li>5.3.6. Vegetación en la manifestación y sus alrededores. Croquis de la distribución o zonación de vegetación.</li> <li>5.3.7. Croquis de la manifestación con sus detalles. A rumbo y pasos. En caso de manifestaciones múltiples, ubicar con detalle cada una. Cuando los manantiales forman su propio canal de desagüe, indicar lo con precisión hasta la desembocadura en la quebrada más cercana.</li> <li>5.3.8. Depósitos minerales. Características, forma, color, espesores, distribución, reacción al HCl. Mineralogía inferida. Discriminar entre depósitos: (a) dentro del agua, (b) aquellos en la zona de influencia de vapores, (c) depósitos viejos. Tratar de determinar diferencias entre depósitos viejos de los nuevos.</li> <li>5.3.9. Geología-Litología-Estructura. (de la zona de la manifestación).           <ul style="list-style-type: none"> <li>a- Litología de rocas en la manifestación (distinguir entre bloques, afloramientos "in situ" y "afloramientos in situ parcialmente desintegrados")</li> <li>- Características, mineralogía, estructuras visibles e inferidas, posibles alteraciones de la roca en contacto con la manifestación.</li> <li>- Determinar o describir la porosidad-permeabilidad de las rocas o unidades en la zona de la manifestación.</li> </ul> </li> <li>b- Posible tipo de acuífero (roca fracturada, roca con permeabilidad primaria, etc.)</li> <li>c- Posible "reservorio" de fluidos geotérmicos a profundidad; especial tipo de roca y estructura.</li> </ul> </li> </ul>

## Recolección de muestras de aguas para análisis físico-químico

El propósito de la recolección de muestras y su posterior análisis, es determinar las propiedades del fluido en su estado natural. Aquí surge el inconveniente de que algunos componentes son inestables y cambian con el tiempo, como resultado de la alteración de condiciones tales como la temperatura, y su contenido de gases como oxígeno, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S. Interesa hacer notar a este respecto, que las experiencias previas (PRESSER & BARNES, 1974; BROWN *et al.*, 1974) indican que las usuales botellas plásticas son permeables al oxígeno y al H<sub>2</sub>S, y que los cambios más comunes observados en muestras sin preparación son el pH, hierro, manganeso, bicarbonatos, amoniaco, H<sub>2</sub>S, calcio y sulfato (en presencia de H<sub>2</sub>S). Las aguas con concentraciones de SiO<sub>2</sub> mayores de 100 ppm pueden causar dificultades, debido a precipitación y polimerización, ya que la silice afectada por este último proceso, no es reactivo al método de molibdato de amonio comúnmente usado.

Los cambios en la composición de la muestra resultan usualmente de la pérdida del CO<sub>2</sub>, oxidación y precipitación de hierro y manganeso, oxidación del H<sub>2</sub>S a sulfato, pérdida de calcio por precipitación de CaCO<sub>3</sub>, y precipitación de SiO<sub>2</sub>. Entre los componentes que prácticamente no están afectados por el almacenamiento de la muestra, están el SO<sub>4</sub> (siempre que no haya H<sub>2</sub>S, de haberlo podría ocurrir un aumento del SO<sub>4</sub>), Li, Na, K, F, Cl, Br, I y B. Uno de los métodos más comúnmente usados para preservar las muestras, pero no necesariamente el mejor para todo tipo de muestras, es el de acidificar una parte de la misma con ácido nítrico bidestilado, añadiendo de 1 a 5 ml de ácido por litro de agua, hasta obtener un pH < 3 (WOOD, 1976). Dentro de esta metodología, los aniones se analizan en la muestra sin tratamiento y los cationes en la fracción acidificada.

En el trabajo realizado en las regiones Oriental y Central de Venezuela, se siguió el siguiente procedimiento:

- **Mediciones de temperatura y pH.**
- **Enjuague de las botellas con la misma agua de la fuente.**
- **Recolección de 1 lt de muestra sin tratar y 1 lt de muestra acidificada, con 5 ml de ácido nítrico.**
- **Recolección de 250 ml de agua sin tratar, para determinación de Na, K, As y SiO<sub>2</sub>.**
- **Las botellas de 1 lt se enviaron en cajas a prueba de luz a los laboratorios del INOS Valencia, o MARNR Cagua. Las botellas de 250 ml se enviaron al Lab. de Aguas, INOS Mariposa.**

## Recolección de muestras de gases y de aguas para análisis isotópico

Las muestras de gases y de aguas para análisis isotópico, fueron recogidas en botellas de vidrio de 250 y 25 ml respectivamente, provistas de una contratapa plástica de forma cónica, a prueba de fuga de gases. Estas botellas fueron suministradas por el Dr. Ivan Barnes (U.S.G.S., California). En la recolección de los gases simplemente se llenaba la botella de agua, invirtiéndola dentro del pozo de agua justo sobre la emisión de gas, hasta que el mismo desplazara toda el agua.

## 2.2. METODOS DE LABORATORIO

### Análisis físico-químicos de aguas.

En los laboratorios que contribuyeron con el proyecto de *Inventario Geotérmico Nacional*, se utilizaron los métodos estandarizados descritos por A.P.H.A. (1976) y CARRILLO T. (1973), que se resumen a continuación:

**Alcalinidad.** Titulación con un ácido mineral fuerte de concentración conveniente, hasta un punto de neutralización (pH 8,3) indicado por medio del colorante fenolftaleína.

**Dureza.** Titulación con EDTA.

**Cloruro.** Titulación con nitrato mercuríco.

**Sulfato.** Método gravimétrico por precipitación de sulfato de bario.

**Fluor.** Método colorimétrico de Scott - Sanchis.

**Nitrito, nitrato y Fe.** Método colorimétrico comparando con patrones.

**Mn.** Colorimetría con persulfato.

**SiO<sub>2</sub>.** Colorimetría por el silicomolibdato.

### Calidad de los análisis físico químicos de aguas.

Sin duda que este es uno de los problemas más delicados en trabajos como el presente. Para tener una idea de la calidad de un análisis se pueden usar los siguientes criterios presentados por HEM (1970: 233-236):

- Revisión del balance de aniones y cationes. La diferencia entre ambas sumas no debería sobrepasar el 6 %. Esto no es

aplicable cuando la suma de los meq/l de aniones o cationes sea menor o igual a 5, igualmente cuando el TSD sea mayor de 1000 mg/l.

- Comparación del TSD determinado y el calculado.
- El TSD debería variar entre 0,55 y 0,77 x Conductividad (en microhm/cm).
- (Suma de aniones/ Suma de cationes en meq/l )x 100 debe ser aproximadamente igual a la conductividad.
- Sospechar del análisis si: a) Na = 0; b) Ca=0 y Mg>2 mg/l; c) K>>Na, si ambos tienen > 5 mg/l.

En el caso de las muestras analizadas por los laboratorios que colaboraron en el presente trabajo, podemos hacer las siguientes observaciones:

- Si no se solicita expresamente, generalmente presentan Na+K en forma combinada, pero determinado por cálculo a fin de forzar el balance entre aniones y cationes. Esto es inaceptable para los fines de las investigaciones geotérmicas, debido a la necesidad de poseer las determinaciones de Na y K, para los cálculos de los geotermómetros químicos. Lamentablemente la mayor parte de los análisis presentados en la literatura tienen esta característica.

- Hasta la fecha no conocemos de ningún análisis de aguas termales de Venezuela, en que se haya determinado la alcalinidad en el campo. Esto junto al hecho de que el CO<sub>2</sub> puede perderse fácilmente con el transporte y almacenamiento de la muestra, hace suponer, que la concentración del HCO<sub>3</sub> sea uno de los parámetros donde haya mayor error. Debido a esta razón, cuando el análisis no balancea, el programa GEOTRV calcula un balance forzoso cambiando el contenido del HCO<sub>3</sub>, y se observa generalmente que el contenido de HCO<sub>3</sub> calculado es mayor que el determinado (alcalinidad x 1,2), lo cual es la tendencia lógica si hay perdida de CO<sub>2</sub> en la muestra.

- En las tablas de análisis físico-químicos presentados en este trabajo (Tomo II), la cifra dada bajo HCO<sub>3</sub> es precisamente la calculada por el programa GEOTRV, para forzar dentro de ciertos límites, el balance de las cargas. Bajo la columna ALC (alcalinidad) aparece la determinación de laboratorio. La comparación de ambas columnas y teniendo en cuenta que HCO<sub>3</sub> = alc.x1,2, permite darse una idea de la calidad del análisis. Igualmente la cifra presentada en TSD es calculada, utilizando para ello el valor ya mencionado para el HCO<sub>3</sub>.

FIG. 1 ETAPAS PARA LA OBTENCION DE INFORMACION Y SU INTRODUCCION AL "BANCO DE DATOS GEOTERMICOS DE VENEZUELA"

### 2.3. PROCESAMIENTO DE DATOS

#### 2.3.1. GENERALIDADES

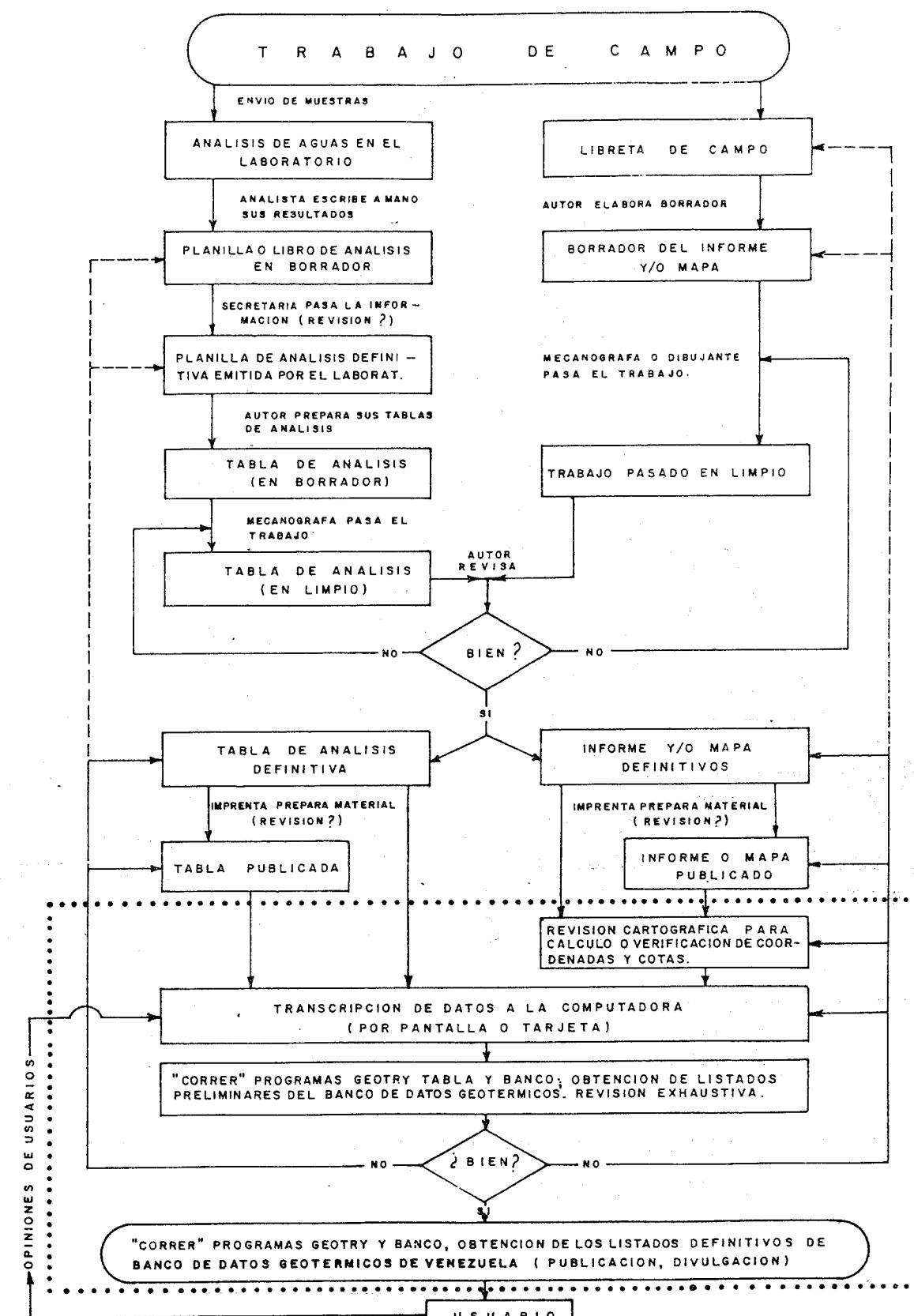
La numerosa información físico-química de aguas y de ubicación de las manifestaciones geotérmicas, fue procesada en la siguiente forma (fig. 1):

Recopilación de datos, e introducción en un formato estandard, creando un banco de datos de manifestaciones geotérmicas y afines (fuentes frias pero "sulfurosas", volcanes de barro, emanaciones de hidrocarburos si estas están asociadas a fuentes termales y sulfurosas, azufrales, etc.).

Corrección de la informacion, esto se lleva a cabo utilizando el programa TABLA que presenta los resultados en forma tabulada, como los que aparecen en el Tomo II, cap. 2, así mismo se utiliza por primera vez el programa GEOTRV para calculos de geotermómetros. Con los resultados de estos dos programas, se pueden detectar facilmente la mayoría de los errores debido a transcripción de datos.

Procesamiento final de los datos con los programas TABLA y GEOTRV, a fin de obtener los resultados en forma definitiva, utilizados para elaborar los capítulos 2 y 3 del Tomo II de este trabajo.

Representación gráfica de los resultados, utilizando diagramas de barras para representar la cantidad relativa de aniones y cationes respectivamente; ciagramas de barras para representar comparativamente la composición de los diversos tipos de aguas; diagramas de líneas con el gráfico propuesto por d'AMORE *et al.* (1981) y diversos diagramas X-Y. Esta información gráfica aparece en el Tomo II, cap. 4. Todos los gráficos allí presentados se elaboraron con el sistema VALDOCS en una microcomputadora EPSOM QX-10. También se elaboraron manualmente diversos diagramas de Piper (fig. 2) y otros diagramas X-Y.



## 2.4. GEOTERMOMETROS QUIMICOS

### 2.4.1. Introducción

En la exploración geotérmica se usan tanto geotermómetros cualitativos como cuantitativos. Estas técnicas se han ido diversificando de modo que hoy en día hay numerosos métodos propuestos. Los cualitativos se usan para buscar concentraciones anómalas de algún *indicador*, ya sea un componente o una relación de componentes, asumiendo que los mismos se han dispersado de, o por causa de, alguna fuente de calor profunda. Así mismo se ha sugerido el uso de análisis de gases en aguas o suelos para indicar la posibilidad de *reservorios geotérmicos ciegos*, es decir sin manifestaciones superficiales.

En este capítulo solo se pretende dar una revisión de aquellos geotermómetros de más uso, principalmente aquellos que se basan en el análisis químico del agua de manifestaciones geotérmicas, constituyendo una ampliación del artículo presentado previamente (URBANI, 1982c). Los diversos geotermómetros sugeridos con isotopos y gases no se tratan debido a la carencia de este tipo de análisis en Venezuela.

### 2.4.2. Geotermómetros cualitativos

Basados en las experiencias internacionales, WHITE (1970), TONANI (1970) y FOURNIER (1977), resumen los siguientes indicadores cualitativos:

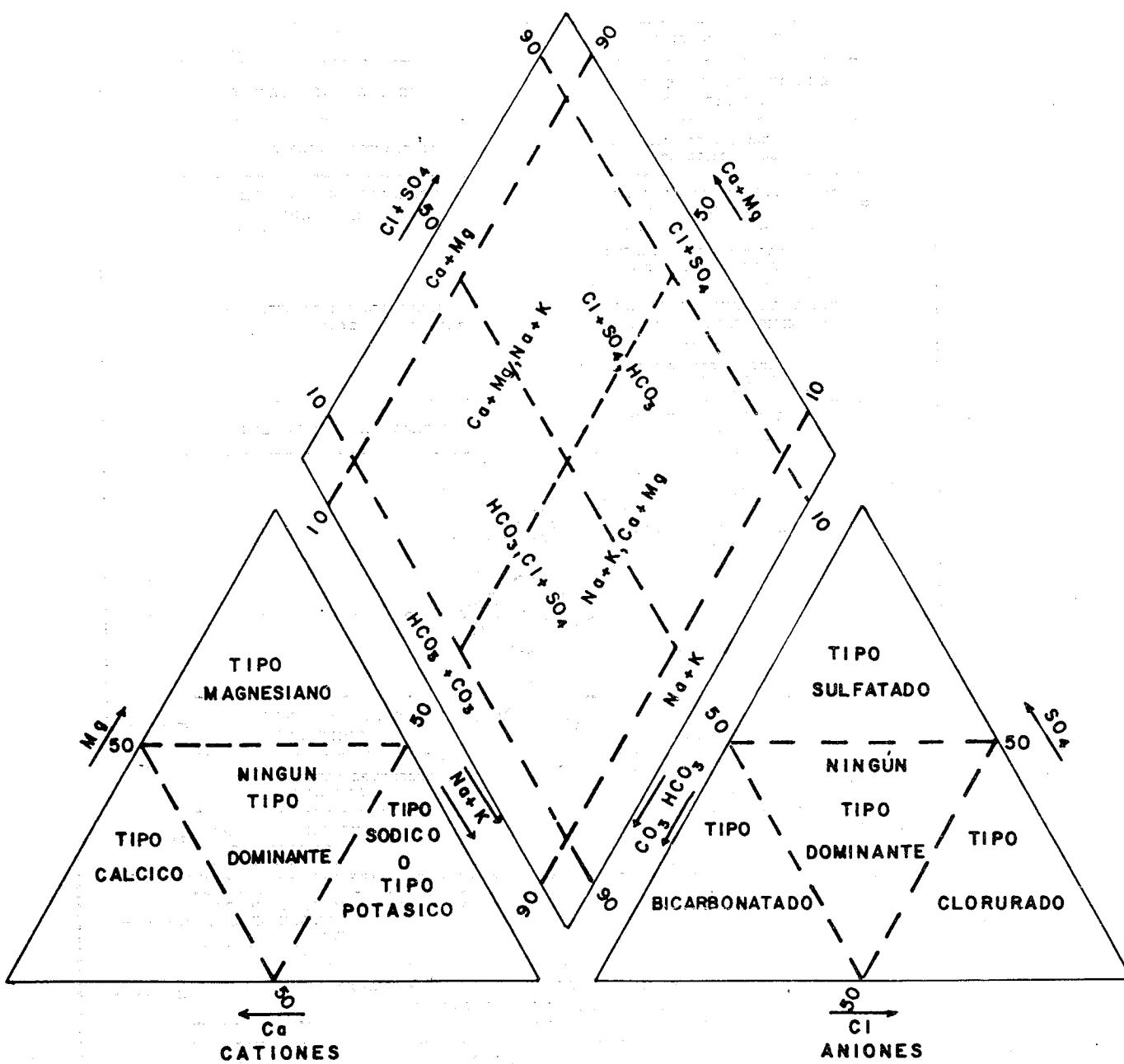
**Ca y HCO<sub>3</sub>.** Util para aguas casi neutras y se debe a la solubilidad del CaCO<sub>3</sub> que es inversamente proporcional a la temperatura del subsuelo.

**Mg y Mg/Ca.** Valores bajos indican altas temperaturas en el subsuelo (fig. 14A).

**Na/Ca.** Valores altos indican altas temperaturas, pero no para aguas de alto contenido de Ca.

**Cl/(HCO<sub>3</sub> + CO<sub>3</sub>), Ca/F.** Valores altos indican (o pueden indicar) altas temperaturas en el subsuelo.

**B, NH<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, Hg y H<sub>2</sub>S.** Su enriquecimiento en aguas cercanas a la superficie pueden resultar de una ebullición a profundidad. El H<sub>2</sub>S se puede oxidar a sulfato bajando el pH al agua. Algunos de estos componentes volátiles se partitionan a la fase de vapor y son transportados hacia arriba, eventualmente apareciendo incorporados en aguas subterráneas frías poco profundas. Estos volátiles predominan en campos geotérmicos dominados por vapor y su alta concentración en aguas subterráneas poco profundas, puede indicar este tipo de sistemas.



Variación de Cl. Puede usarse para la estimación de proporciones de mezcla entre agua fria de bajo Cl, con agua caliente de alto contenido de Cl.

H<sub>2</sub>/otros gases. Valores altos pueden indicar altas temperaturas.

Depósitos de SiO<sub>2</sub>. Indicador bastante bueno de temperatura en el subsuelo, ahora o antes, de mas de 180°C.

Depositos de travertino. Indicador de baja temperatura en el subsuelo, a menos que aguas bicarbonatadas hayan entrado en contacto con caliza despues del enfriamiento.

CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S. Variaciones de estas relaciones en fumarolas, pueden indicar zonas con posibilidad de estar cerca del agua caliente profunda. Cuando se encuentran tanto relaciones altas como bajas, aquellas fumarolas con relaciones mas bajas pueden estar mas cerca del acuífero.

H<sub>2</sub>. Cantidades en exceso a 0,5 % usualmente indican temperaturas del reservorio mayores de 200°C.

Hg y He. Parece prometedor el desarrollo de estas técnicas en el futuro, y ya se han obtenido éxitos limitados en el descubrimiento de reservorios ciegos.

#### 2.4.3. Geotermómetros cuantitativos

Este tipo de geotermómetros, ya sean empíricos o teóricos, se utilizan para estimar la temperatura de los reservorios geotérmicos de sistemas donde predomina el agua caliente, ya que no tienen mucho éxito para sistemas dominados por el vapor.

Dentro de este grupo de geotermómetros cuantitativos, se tratarán aquellos basados en la solubilidad de las diversas fases de SiO<sub>2</sub>, los basados en relaciones de cationes: Na/K, Na-K-Ca-(Mg) y Na/Li, y diversos modelos de mezclas de aguas.

Para el uso de estos métodos deben asumirse ciertas condiciones básicas, expuestas por FOURNIER (1979), y así mismo deben tenerse en cuenta las complejidades que rodea a todo sistema geotérmico, como son el tipo de enfriamiento del agua, las posibilidades de mezclas de aguas de diferentes niveles y las características hidrológicas, etc. Esto lo trataremos de resumir a continuación:

##### Condiciones básicas.

1) Deben existir reacciones dependientes de la temperatura, que involucran a los minerales de las rocas y el agua. Estas reacciones son las que fijan la cantidad del componente indicador en el agua.

2) Debe existir un adecuado suministro de todas las fases

reaccionantes, que controlan la concentración del componente indicador.

3) Que en el reservorio haya equilibrio con respecto a la reacción del indicador específico.

4) Que no haya reequilibrio posterior a la salida del agua del reservorio, en lo que respecta a los constituyentes indicadores.

La obtención del equilibrio en el reservorio depende de muchos factores, tales como la cinética de la reacción, particular, temperatura, reactividad de la roca, concentración del elemento indicador en el agua y el tiempo de permanencia del agua en el reservorio a una temperatura dada. Así que no siempre puede llegarse al equilibrio de alguna reacción de interés. Para que no haya reequilibrio posterior, se requiere que el agua sea transferida rápidamente del reservorio a la superficie. Si por el contrario el flujo es muy bajo, existe la posibilidad de que a temperaturas menores haya ocurrido reequilibrio y la temperatura estimada sea probablemente menor que la del posible reservorio profundo caliente.

5) Que no haya mezcla de diferentes aguas en el camino a la superficie, de lo contrario y si es posible, se debe proceder a evaluar tal mezcla.

##### Otras consideraciones

6) Ademas de todos los factores ya citados, es necesario tener en cuenta la complejidad hidrológica comunmente presente en los sistemas de aguas termales. FOURNIER (1979) presenta un diagrama esquemático indicador de estas complejidades (vease la fig. 3), en donde las áreas punteadas R1, R2 y R3 representan acuíferos o reservorios a diferentes profundidades con sus temperaturas  $t_1 > t_2 > t_3 > 100^\circ\text{C}$ . Asumiremos que el agua de R1 es uniforme en composición y esta en equilibrio con la roca. Al ascender a la superficie el agua R1 puede enfriarse por conducción de calor hacia las rocas adyacentes, por ebullición, por mezcla con aguas frias poco profundas, o por una combinación de ellos, y esto depende de los siguientes factores: profundidad del acuífero, geometría y direcciones del camino de ascenso, descarga, coeficiente de difusión termal a través de las rocas adyacentes, y la temperatura inicial del agua.

Un reequilibrio químico completo o parcial puede ocurrir entre la roca y los constituyentes disueltos en el agua, a medida que esta asciende, ya sea como resultado del enfriamiento (o mezcla) o debido a diferentes tipos de roca que se encuentren. El reequilibrio es favorecido por: una temperatura inicial alta; baja velocidad en el movimiento del agua hacia la superficie; tiempos de residencia relativamente altos en reservorios intermedios o poco profundos, como es el caso de R2 y R3 (fig. 3); y por rocas circundantes químicamente muy

reactivas. Todo esto señala los posibles efectos que deben considerarse cuando se aplican los geotermómetros, para estimar las temperaturas de reservorios geotérmicos. Debe notarse que si  $t_1 < 100^\circ\text{C}$  y el flujo es relativamente rápido, pudiera haber muy poco enfriamiento en el agua al ascender.

La citada fig. 3 tomada de FOURNIER (1979) muestra una sección esquemática a través de un sistema hipotético de aguas termales, en donde las zonas punteadas representan reservorios de agua con temperaturas  $t(R1) > t(R2) > t(R3) > 100^\circ\text{C}$ , y las aguas calientes emergen en los puntos A a G. Cada fuente ilustra una condición diferente del flujo ascendente que puede afectar la temperatura del agua y su composición química:

A, es un manantial alimentado directamente desde R1 a la superficie, puede haber enfriamiento por pérdida de vapor si el flujo es rápido, y conductivo si es lento.

B, hay flujo horizontal cerca de la superficie, y el enfriamiento conductivo es posible aun con un flujo rápido.

C, se tiene un ascenso directo desde R1, y hay mezcla con agua fría en M1, pero sin reequilibrio químico después de la mezcla.

D, hay reequilibrio químico en un reservorio intermedio R2.

E, después del reequilibrio en R2 ocurre una mezcla con agua fría en M2, sin reequilibrio posterior.

F, reequilibrio químico después de la mezcla con agua fría en un reservorio intermedio R3.

G, después de dejar el reservorio R3, hay mezcla en M3 pero sin reequilibrio posterior.

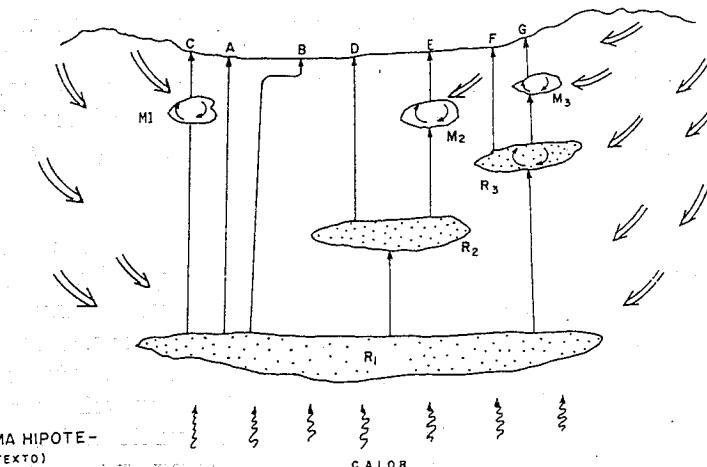


FIG. 3 SECCION ESQUEMATICA A TRAVES DE UN SISTEMA HIPOTETICO DE FUENTES TERMALES. (EXPLICACION EN EL TEXTO)

7) Otro factor de importancia a ser considerado en la interpretación de los geotermómetros químicos, es el tipo de enfriamiento, ya esbozado previamente en forma breve. Siguiendo a FOURNIER (1979), a continuación presentamos un resumen de la importancia de reconocer el tipo de mecanismo de enfriamiento ocurrido:

#### Enfriamiento conductivo.

Hay dos razones fundamentales por las cuales se demuestra la importancia, de saber si hubo un apreciable enfriamiento por conducción: (1) si se ha enfriado por conducción, la temperatura de la fuente termal puede estar a una temperatura mucho menor que la máxima en el sistema de convección hidrotermal, y (2) durante el ascenso lento necesario para que haya un apreciable enfriamiento por conducción, es probable que la composición del agua cambie debido a precipitación y reacciones agua-roca. Así mismo y debido a que las diversas reacciones que pudieran producirse, no ocurren a las mismas velocidades, esto podría dar como resultado valores muy diferentes en los estimados de diversos geotermómetros cuantitativos.

TRUESDELL *et al.* (1977, *fide* FOURNIER, 1979:3) calcularon el flujo de agua (kg/min) máximo para que ocurra enfriamiento conductivo sin ebullición, y el flujo mínimo para un enfriamiento por ebullición sin un apreciable factor de enfriamiento conductivo, para un agua de: (a) un reservorio caliente profundo con  $200^\circ\text{C}$ , (b) emergiendo a  $100^\circ\text{C}$ , (c) moviéndose verticalmente a partir de diferentes profundidades iniciales, (d) asumiendo un flujo a través de conductos cilíndricos de pequeño diámetro. Algunos de sus resultados se dan a continuación:

Profundidad Km	E n f r i a m i e n t o	
	conductivo kg/min	por ebullición kg/min
0,5	13	117
1,0	26	234
1,5	40	355

Si el componente de flujo horizontal poco profundo es importante, como se sugiere para el manantial B (fig. 3), aun para aguas con flujo mayor al indicado en la tabla anterior, pudieran estar enfriadas enteramente por conducción. La presencia de aguas termales con diferentes temperaturas y contenido similar de cloro sugiere enfriamiento conductivo aun cuando la descarga sea relativamente grande, ya que con enfriamiento conductivo el contenido de cloro tiende a permanecer casi igual al del acuífero que alimenta la fuente. En estos casos el contenido de SiO<sub>2</sub> y las relaciones entre elementos alcalinos, pueden cambiar a medida que el agua asciende lentamente, debido a una disminución de las solubilidades a menores T y P y a reacciones agua-roca.

Se ha encontrado que para temperaturas iniciales sobre 210-230 °C la sílice tiende a precipitar en su ascenso a la superficie, lo que obedece a las velocidades de reacción relativamente mas altas a mayores temperaturas, y a la obtención de supersaturación con respecto a la sílice amorfa (fig. 7 y 9B) a medida que la solución se enfria. Esta precipitación de sílice puede cubrir las vias de ascenso previniendo otras reacciones agua-roca, particularmente las que están relacionadas con Na, K y Ca. Por esta razón  $t_{(Na-K-Ca)}$  debería dar un valor mas alto y mas confiable que el geotermómetro de sílice, siempre y cuando no haya habido precipitación de  $CaCO_3$  por pérdida del  $CO_2$ .

Cuando la temperatura inicial esta por debajo de unos 190 °C, es poco probable que ocurra precipitación de  $SiO_2$  durante el ascenso del agua a la superficie, ya que no se obtendrá la supersaturación con respecto al sílice amorfo. En esta situación y si no hay mezclas,  $t_{(cz)}$  generalmente sera mayor y mas confiable que  $t_{(Na-K-Ca)}$ . Debe notarse ademas, que a temperaturas del reservorio menores de 100°C y quizás hasta 150°C, la calcedonia podría ser la fase de sílice controlante en vez del cuarzo, pero esto es difícil de evaluar.

#### Enfriamiento por ebullición.

El agua que comienza a una temperatura mayor de 100 °C, y fluye a la superficie con un caudal relativamente alto se enfriara por ebullición, y brotará a una temperatura igual o un poco superior al punto de ebullición atmosférico. A medida que el vapor se separa, los constituyentes no volátiles permanecerán en la fracción de agua líquida (siempre que no haya precipitación), y sus concentraciones serán mayores en el punto de emergencia que en el reservorio que lo surte. Para el caso del geotermómetro de  $SiO_2$  (cuarzo y calcedonia), esto puede corregirse (ver la curva con máxima pérdida de vapor en las figs. 6, 7, 8A). Sin embargo el enfriamiento puede ser parcialmente conductivo y por ebullición, en cuyo caso la importancia de ambos es desconocida.

En la fig. 3 los manantiales R1-A, R2-D y R3-F, pueden enfriarse predominantemente por ebullición si el flujo es suficientemente alto. En R1-B aun con un flujo mayor que en R1-A pudiera haber un enfriamiento por ebullición en su trayecto vertical y conductivo durante el movimiento horizontal poco profundo. En este caso la temperatura en B seguramente sera menor que el punto de ebullición, y dependiendo si el vapor formado se ha recondensado en el agua debido al enfriamiento conductivo, la concentración de los componentes no volátiles como el cloro, pudieran ser igual o mayor que en el reservorio R1.

En la presente discusión del enfriamiento por ebullición, también es valedero lo señalado en el último párrafo de las consideraciones para enfriamiento conductivo, referente a la precipitación de sílice.

#### Enfriamiento por mezcla.

Al ascender el agua caliente, esta puede mezclarse con agua subterránea fria en las partes superiores o marginales del sistema hidrotermal. La temperatura resultante de la mezcla puede estar por encima o por debajo de la temperatura de ebullición atmosférica. Un reequilibrio total o parcial pudiera ocurrir o no despues de la mezcla, pero tal reequilibrio es mas probable que ocurra si la temperatura es mayor de 100°C. Algunas indicaciones de que pueda haber existido mezcla, se detallaran mas adelante cuando se consideren los modelos de mezcla.

8) A continuacion se presentaran algunas consideraciones sobre la presencia de reservorios a profundidades intermedias y bajas, y nos basaremos en la fig. 3 tomada de FOURNIER (1979). Se asume que la roca es relativamente uniforme en composición a traves de la sección, y que el equilibrio agua-roca se ha establecido en los reservorios R1, R2 y R3. En las condiciones mas favorables en que las aguas emergen en A, B, D y F, sin reacciones químicas apreciables durante el ascenso, solo A y B darán una información directa de la temperatura del reservorio caliente mas profundo R1. D nos daría la temperatura de R2 y la salinidad de R1 y R2 (despues de las correcciones por ebullición). La fuente F solo dara información directa de R3, cuya salinidad es el resultado de la mezcla del agua R1 y agua fria poco profunda.

Con este ejemplo, se quiere mostrar que en muchas partes del mundo pudieran existir reservorios calientes como R1, pero que las únicas fuentes termales que brotan en superficie proceden de acuíferos intermedios de mas baja temperatura.

9) En el caso de sistemas de altas temperaturas, también deben considerarse las diferencias, y por consiguiente los efectos entre los sistemas geotérmicos dominados por agua caliente, contra aquellos dominados de vapor.

Un modelo generalmente aceptado para los sistemas dominados por vapor, es el propuesto por WHITE et al. (1971), donde se considera que existe una cobertura de roca relativamente impermeable por encima de un reservorio de considerable extensión vertical, en donde el vapor es la fase predominante, en los conductos relativamente grandes, mientras que el agua líquida llena los espacios intergranulares (fig. 5). La temperatura y presión del fluido aumenta con la profundidad por encima de la zona de vapor, mientras que dentro de ella la P permanece relativamente constante debido al poco peso del vapor comparado con el agua, lo que produce poco cambio en el gradiente hidrostático. La T tambien es relativamente constante a través de la zona de vapor, ya que la temperatura de una mezcla de vapor y agua depende de la presión. Por debajo de la zona de vapor, el agua líquida llena los conductos y P y T aumentan nuevamente al aumentar la profundidad.

En los sistemas dominados por agua caliente, esta es la fase continua en los conductos, aun cuando burbujas de vapor o gas pueden estar presentes (fig. 4). La presión hidrostática se incrementa en forma continua a profundidad, y la temperatura máxima esta limitada por la curva de variación del punto de ebullición.

En un sistema con dominio de vapor, es factible una acumulación de componentes volátiles, como NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, Hg y B de los cuales los menos volátiles se redisolverán en el condensado, pero alguno de los mas volátiles pueden continuar su movimiento ascendente, hasta alcanzar las aguas subterráneas mas frias y poco profundas. De esta manera las aguas subterráneas y manantiales, situadas sobre sistemas con predominio de vapor tenderán a ser ricas en los componentes volátiles señalados y sus productos de reacción, y serán pobres en componentes no volátiles, como el Cl, que permanecerá en la salmuera profunda.

Las fumarolas, fuentes sulfatadas ácidas con baja descarga, aguas bicarbonatadas sódicas y suelo caliente alterado por emanaciones ácidas, son las manifestaciones superficiales típicas de sistemas con predominio de vapor. Pero estas características no son exclusivas de este tipo de sistemas, ya que a veces estan presentes sobre sistemas de aguas calientes donde ocurre ebullición subterránea. La experiencia mundial indica que generalmente, pero no siempre, fuentes con aguas neutras o alcalinas ricas en Cl brotan sobre sistemas de aguas calientes en lugares topográficamente bajos, y fuentes sulfatadas ácidas brotan a elevaciones mayores. El área geotérmica de El Coso, California es una de la mejor estudiadas de su tipo (parecida a la zona de Las Minas y Aguas Calientes, El Pilar, Venezuela), donde la expresión superficial, consiste de fuentes de bajo contenido de Cl y sulfatadas ácidas, y otras características parecidas a las de predominio de vapor, pero la perforación mostró que a tan solo 30 a 45 m de profundidad, existe un sistema dominado por agua caliente rica en Cl (FOURNIER et al., 1980; Fournier, 1981).

Las fuentes con aguas sulfatadas ácidas, en donde las rocas superficiales estan lixiviadas, no son adecuadas para la aplicación de geotermómetros químicos (TRUESDELL, 1976: lviii).

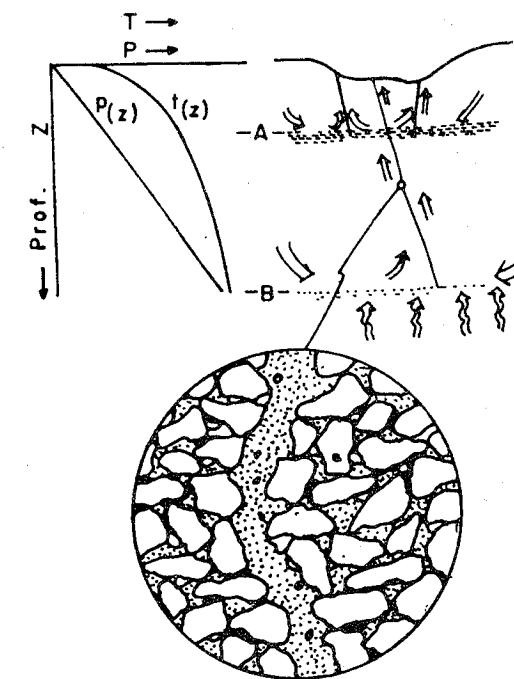


FIG. 4  
MODELO ESQUEMATICO DE LAS CONDICIONES EN UN SISTEMA GEOTERMICO DOMINADO POR AGUA CALIENTE, DONDE LAS TEMPERATURAS DE EBULLICION PREVALEN A TRAVES DE UNA ESTRUCTURA DE BUZAMIENTO ALTO, LLENA DE AGUA

TOMADOS DEL FOURNIER(1981)

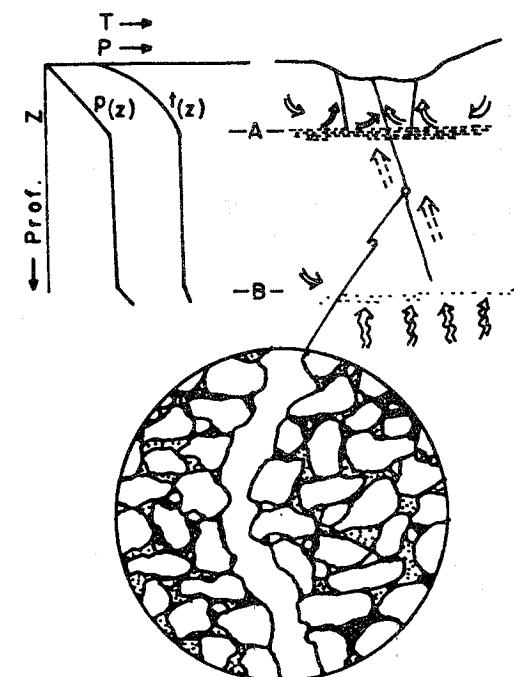


FIG. 5  
MODELO ESQUEMATICO DE LAS CONDICIONES EN UN SISTEMA GEOTERMICO DOMINADO POR VAPOR

#### 2.4.4. Geotermómetros basados en la solubilidad de las fases de SiO<sub>2</sub>.

La solubilidad de los minerales generalmente cambia en función de la T y P, pero con la excepción de las fases de SiO<sub>2</sub>, la solubilidad de otros minerales no se han usado como geotermómetros. En la mayoría de las aguas naturales, la concentración de SiO<sub>2</sub> disuelto no está afectado por los iones comunes, la formación de complejos, ni por la pérdida de volátiles que hace difícil la interpretación de la mayoría de los demás constituyentes disueltos. Además, al tener que asumir un adecuado suministro de reaccionantes, esto es generalmente válido para el SiO<sub>2</sub> pero no para otros.

El geotermómetro de SiO<sub>2</sub> fue propuesto por FOURNIER y ROWE (1966) usando la solubilidad del cuarzo. El contenido de sílice en el agua de una fuente termal o pozo puede correlacionarse con la última temperatura de equilibrio con cuarzo. Las figs. 6, 7 y 9 presentan las curvas de solubilidad del cuarzo, donde existen dos alternativas dependiendo del tipo de enfriamiento.

- Si el agua se enfria por ebullición antes del muestreo, se usa una curva que corrige para la máxima pérdida posible de vapor. FOURNIER y TRUESDELL (1974:267) presentan un gráfico donde se indica la máxima fracción de vapor que podría producirse por enfriamiento por ebullición entre 100 y 300 °C, y en base a ello construyen la curva de corrección por dicha pérdida (fig. 6).

- Si el enfriamiento es principalmente conductivo, se usa directamente la curva clásica de solubilidad del cuarzo.

Además del cuarzo, la concentración de SiO<sub>2</sub> puede estar controlada por la solubilidad de la calcedonia, cristobalita alfa y beta y sílice amorfo (figs. 7 y 9B).

En referencia al uso de los geotermómetros de SiO<sub>2</sub>, en la literatura se han presentado las siguientes consideraciones (e.g.: BROOK et al., 1978):

1) La solubilidad del cuarzo controla la concentración de sílice en todos los reservorios de alta temperatura (mayor de 180 °C), el cuarzo también puede ser el mineral controlante en rocas cuarzo feldespáticas, hasta temperaturas tan bajas como 80°C.

2) La calcedonia puede controlar la concentración de SiO<sub>2</sub> en reservorios de bajas temperaturas, y para reservorios de rocas basálticas puede llegar hasta 180 °C. Lamentablemente no hay criterios definidos, para poder decidir cual de las fases es la controlante en cada caso.

3) En algunos ambientes de baja temperatura con descomposición rápida de silicatos (plagioclasa, serpentina, etc.), esto permite que las soluciones se hagan supersaturadas

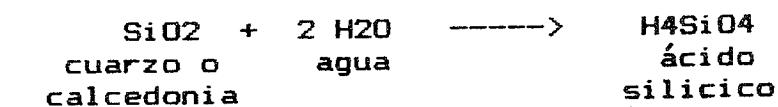
con respecto al cuarzo y la calcedonia.

4) La velocidad en que los silicatos se disuelven, en muchos sistemas esta controlado parcialmente por la concentración de CO<sub>2</sub> disuelto, de modo que a altas concentraciones, los silicatos se disuelven más rápidamente. Muchas aguas frias ricas en CO<sub>2</sub> de varias partes del mundo, casi alcanzan saturación con respecto al sílice amorfo, aparentemente debido a la baja tasa de precipitación de cuarzo y calcedonia y la continua adición de CO<sub>2</sub> de profundidad.

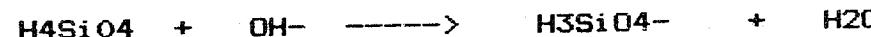
5) Los geotermómetros de SiO<sub>2</sub> han demostrado dar buenos resultados para sistemas asociados con aguas neutras o ligeramente ácidas. Sin embargo, varios sistemas termales se han encontrado descargando agua diluida con pH de 8 a 9,3 y con concentraciones de SiO<sub>2</sub> anormalmente altas. Estas aguas termales diluidas prácticamente no contienen CO<sub>2</sub> libre y ocurren típicamente en zonas de rocas graníticas. Consecuentemente el pH alcalino no puede deberse a pérdida de CO<sub>2</sub> en la fuente o por reacción con silicatos magnesianos; por el contrario, puede ser debido a la hidrólisis de feldespatos en ausencia de una cantidad apreciable de CO<sub>2</sub> disuelto.

El contenido de SiO<sub>2</sub> indicado en los análisis químicos, se refiere a la concentración de H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> (ácido silícico) y varias especies disociadas, particularmente H<sub>3</sub>SiO<sub>4</sub><sup>-</sup>; el SiO<sub>2</sub> no existe como una especie disuelta en la naturaleza.

La base de los geotermómetros de SiO<sub>2</sub>, es la siguiente reacción, dependiente de la temperatura:



En aguas alcalinas el ión OH<sup>-</sup> reduce la proporción de ácido silícico del total de sílice en disolución, debido a la siguiente reacción:



Para aguas muy alcalinas y debido a esta última reacción, la concentración de sílice dado en los análisis debe ser reducida en una cantidad equivalente a la concentración de H<sub>3</sub>SiO<sub>4</sub><sup>-</sup> y obtener un mejor valor para la temperatura estimada del reservorio. Como ejemplo, a una temperatura de 80 °C y pH = 9 aproximadamente el 44% del sílice disuelto está como H<sub>3</sub>SiO<sub>4</sub><sup>-</sup>, mientras que a pH 7, menos del 1% está en forma disociada. Esto hace que si tuvieramos un total de 100 mg/l de sílice, y la calcedonia es el mineral controlante, entonces la temperatura estimada por el geotermómetro de calcedonia, debe reducirse de 110 °C (pH 7) a 78 °C (pH 9). Algunos autores (BROOK et al., 1978; R.H. MARINER, com. escrita, 16-6-83), han propuesto una forma de corrección para pH's altos, pero en realidad es preferible evitar aguas con pH mayores de 8,5.

6) En algunos trabajos se ha señalado la presencia de reservorios con fluidos de pH neutro y alto CO<sub>2</sub>, que puede asociarse con pozos y manantiales de pH alcalino, debido a la pérdida de CO<sub>2</sub> a una fase de vapor o a la atmósfera. En estos casos no se debe hacer ninguna corrección debido a la disociación del ácido sílico.

7) Es muy importante notar, que los geotermómetros de SiO<sub>2</sub>, como todos aquellos que utilizan la concentración de un solo componente, están muy afectados por la mezcla de aguas termales con aguas subterráneas frias, y esto puede reducir notablemente los estimados de temperatura. Mas adelante se señalarán varios métodos para analizar el problema de las mezclas.

#### Ecuaciones de cálculo

Las ecuaciones que relacionan T con la concentración (C) de SiO<sub>2</sub> en el agua (mg/l), en el intervalo de 25 a 250°C, y para varias especies puras de SiO<sub>2</sub> son las siguientes (según FOURNIER, 1977):

A

$$\text{La formula general es: } t \text{ (°C)} = \frac{A}{B - \log C} - 273,15$$

donde las constantes A y B, tienen los siguientes valores:

Especie mineral	A	B
Sílice amorfa	731	4,52
Cristobalita beta	781	4,51
Cristobalita alfa	1000	4,78
Calcedonia	1032	4,69
Cuarzo, cond. (*)	1309	5,19
Cuarzo, eb. (**)	1522	5,75

(\*) Con enfriamiento conductivo, sin pérdida de vapor.

(\*\*) Con enfriamiento por ebullición, máxima pérdida de vapor.

Otras autores han propuesto unos coeficientes ligeramente diferentes a estos, pero cuyos resultados difieren muy poco de las ecuaciones anteriores (e.g.: TRUESELL, 1976; MICHAUD, 1979; ARNORSSON *et al.*, 1983).

FOURNIER y POTTER (1982) presentan una nueva ecuación que describe la curva de la solubilidad del cuarzo, señalando que es superior a las anteriores en el intervalo de 20 a 330°C:

$$t \text{ (°C)} = -42.198 + 0,28831 \times C - 3,6686 \times 10^{-3} \times C^3 + 3,1665 \times 10^{-7} \times C^7$$

$$+ 77.034 \times \log_{10} C$$

Previamente se indicó que para aguas con pH muy alto (>9) se debe corregir el contenido de SiO<sub>2</sub> medido, debido a los efectos de disociación de las especies de SiO<sub>2</sub>. Para corregir este efecto R.H. MARINER (U.S.G.S., com. escrita, 16-6-1983), propone la siguiente ecuación:

$$(\log K_t + \text{pH})$$

$$\text{SiO}_2 \text{ (corregido)} = [\text{SiO}_2 \text{ (medido)}] / [1 + 10^{-(\log K_t + \text{pH})}]$$

donde log K<sub>t</sub> son los valores para la constante de disociación de H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> a varias temperaturas (la temperatura de la fuente termal), y varía como sigue:

temp (°C)	25.	50.	75.	100.	125.	150.
log K <sub>t</sub>	-9.63	-9.30	-9.11	-9.03	-9.03	-9.10

a estos datos hemos ajustado la siguiente ecuación:

$$\log K_t = -10,1166 + 0,0230117 t - 1,47302 \cdot 10^{-3} t^2 + 2,6074 \cdot 10^{-6} t^3$$

El uso de uno u otro, de los geotermómetros de SiO<sub>2</sub> depende de muchos factores geoquímicos y geológicos. En lo que respecta a las variedades precipitadas, MICHAUD (1979) encuentra que el cuarzo precipita por encima de 160°C, mientras que por debajo de 120°C lo hace la calcedonia, y a temperatura ambiente precipita la sílice amorfa. El mismo autor presenta ejemplos de aguas equilibradas con cuarzo a unos 160°C, y que después de un enfriamiento hasta 60°C, aún mantiene su tenor inicial de SiO<sub>2</sub>, de modo que el equilibrio inicial queda "bloqueado". Por otra parte, hay casos de lugares donde se dispone de datos buenos del subsuelo, y al representar el gráfico C SiO<sub>2</sub> vs T C, se nota que una buena proporción de puntos cae entre las curvas de solubilidad de cuarzo y calcedonia.

A continuación presentaremos un resumen de las restricciones y observaciones sobre estos geotermómetros de SiO<sub>2</sub>:

a) Cuando se usa el geotermómetro de cuarzo, si consideramos que el agua se enfrió tanto por conducción, como por procesos de ebullición, entonces t(cz.e) < t(r) < t(cz.c).

b) La mezcla de agua termal con agua fría, puede afectar radicalmente los resultados de estos geotermómetros.

c) Las ecuaciones citadas serán válidas, solamente cuando la concentración de sílice en el agua, no esté afectada por fases sólidas silíceas diferentes a las señaladas.

d) Se debe recordar que estos métodos, dan la temperatura del último equilibrio del agua con los minerales de SiO<sub>2</sub> del medio ambiente, y el valor estimado de la temperatura pudiera ser el promedio de las temperaturas de un acuífero relativamente poco profundo, con otro más profundo.

e) Debido principalmente a los problemas de mezcla, la temperatura estimada con el geotermómetro de SiO<sub>2</sub>, generalmente nos da un límite inferior.

f) En el caso de Venezuela, resultará interesante analizar la influencia de la presencia de chert en el contenido de sílice en el agua, en especial por el hecho de que en la región oriental, muchas aguas termales se encuentran en zonas donde en superficie o en el subsuelo se encuentra chert del Grupo Guayuta. El chert además, presenta una amplia gama de texturas, desde granulares a muy esponjosas.

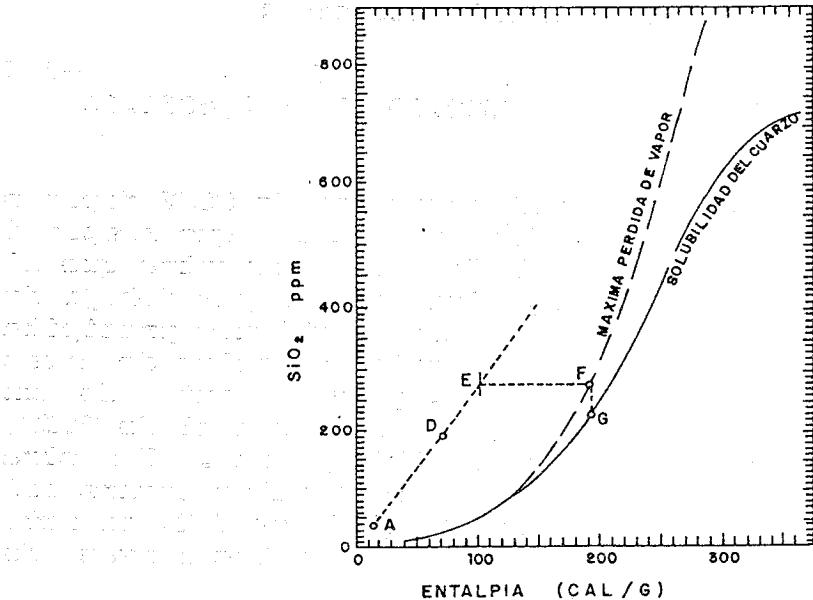


FIG. 6  
GRAFICO PARA EL MODELO  
DE MEZCLAS DE FUENTES  
TIBIAS (WSMM) CON  
PERDIDA DE VAPOR

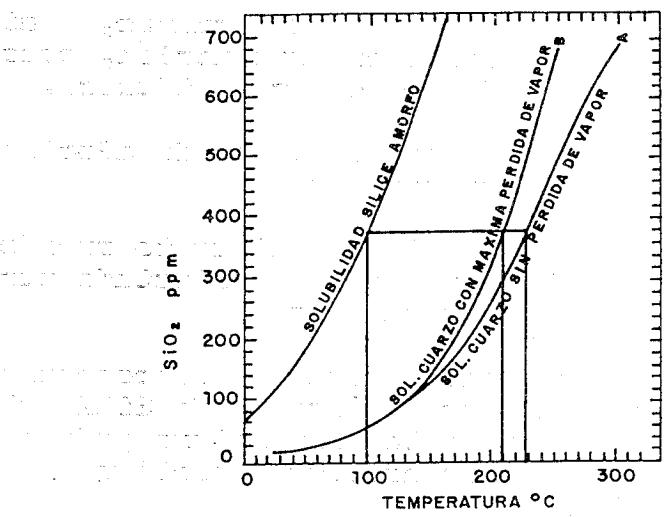
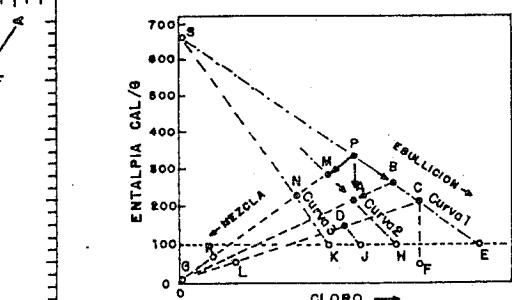
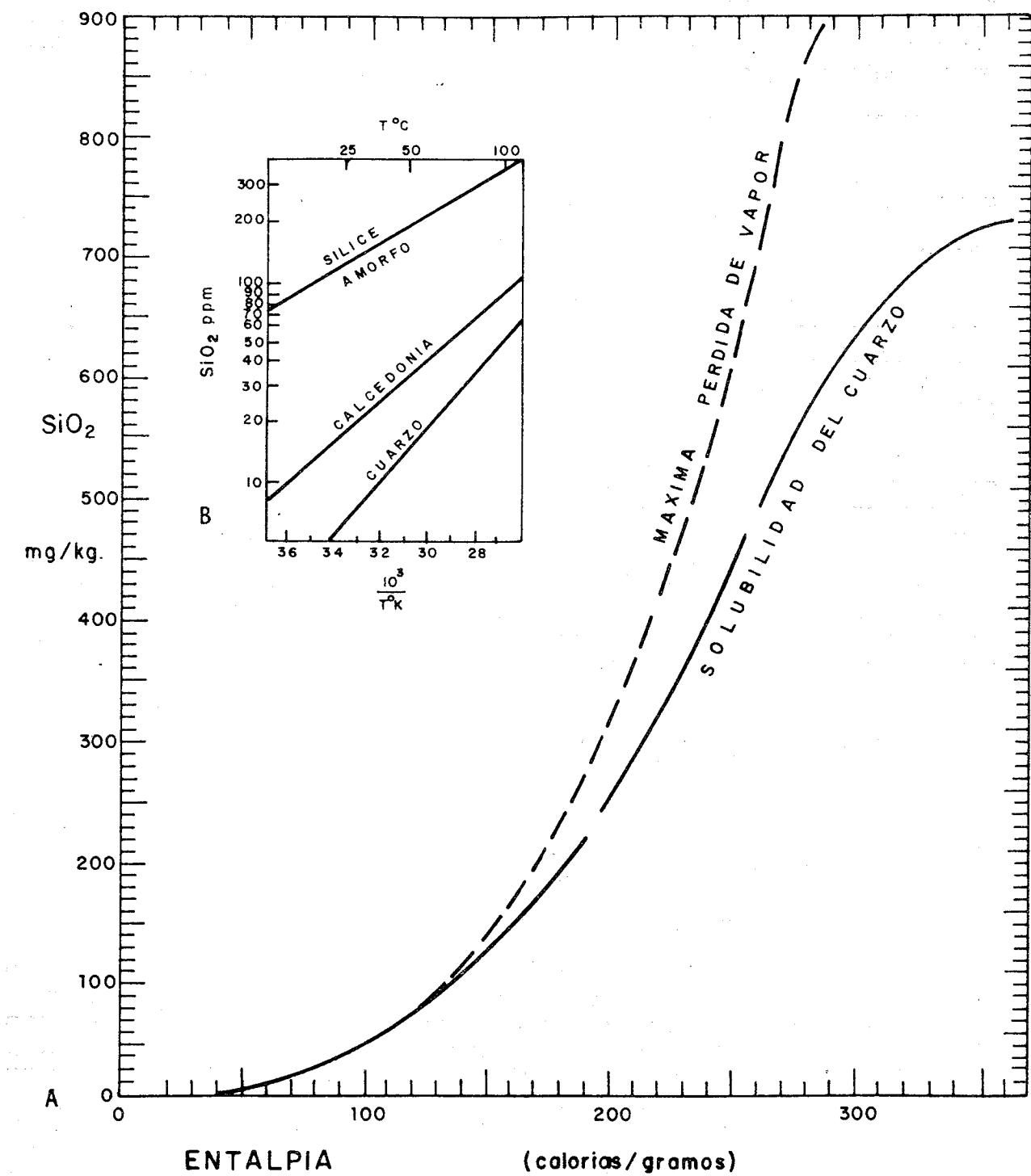


FIG. 7



37

FIG. 9 CURVAS DE SOLUBILIDAD DEL CUARZO, CALCEDONIA Y SILICE AMORFO, UTILIZADAS EN GEOTERMOMETRIA DE AGUA TERMALES.

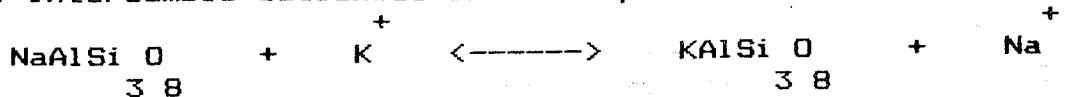


38

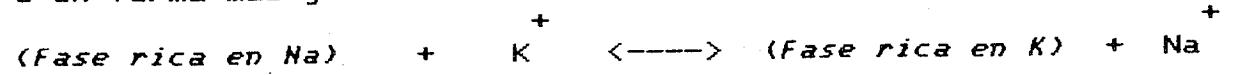
#### 2.4.5. Geotermómetros de cationes

##### Geotermómetro de Na/K

La partición de alcalis entre solución y fases sólidas es dependiente de la temperatura, así que las relaciones de álcalis pueden dar indicación de la temperatura en el subsuelo. Desde 1960, muchos autores han utilizado la relación Na/K como geotermómetro, proponiendo relaciones empíricas para ello. En general la variación de esta relación se basa fundamentalmente en el intercambio catiónico en feldespatos alcalinos:



o en forma más general:



ya que se ha indicado la importancia de otros minerales como arcillas y zeolitas, en este proceso. Por encima de 100 °C la relación Na/K aparece dependiente de la temperatura, por las reacciones de equilibrio entre albita baja y microclino, y albita alta y sanidina (FOURNIER, 1979).

La ecuación del geotermómetro Na/K se ha establecido empíricamente, a partir de la correlación de datos químicos y temperaturas reales de reservorios geotérmicos alcanzados por pozos, siendo las ecuaciones más utilizadas las de FOURNIER (1979) y la de TRUESELL (1976a), la primera está mejor calibrada para temperaturas mayores de 150 °C, mientras que la segunda debería dar mejores resultados para temperaturas menores de 150 °C (fig. 10, líneas A y B respectivamente). Las ecuaciones son como sigue:

$$t (^{\circ}\text{C}) = \frac{A}{\log (\text{Na}/\text{K}) + B} - 273,15$$

	A	B
FOURNIER (1979)	1217,0	1,483
TRUESELL (1976)	855,6	0,8573

y donde Na y K, son las concentraciones expresadas en ppm.

A pesar del afinamiento sucesivo que ha tenido este geotermómetro, la experiencia mundial es que concuerda bastante bien para aguas de pozos con reservorios de temperaturas mayores de 150 a 200 °C, pero casi siempre da valores estimados anormalmente altos cuando se aplique a ambientes de temperaturas menores. Esto puede ser debido a que en temperaturas altas, el intercambio iónico entre feldespatos puede ser el factor controlante básico, mientras que a bajas temperaturas otros minerales como las arcillas, micas y zeolitas, pueden ser las

controlantes de la relación Na/K en las soluciones.

Este método al igual que otros basados en relaciones entre componentes, está menos afectado por la mezcla del agua termal con aguas frias superficiales (generalmente más diluidas), pero como se ha mostrado en ejemplos de muchos países, los resultados dados por este geotermómetro están pocas veces acordes con la realidad. Todo esto ha dado como consecuencia, que se desarrollara el geotermómetro de Na-K-Ca.

##### Geotermómetro de Na-K-Ca

Este método fue propuesto por FOURNIER y TRUESELL (1973), como una mejora del de Na/K, ya que provee una corrección por la concentración de Ca, y es mucho más confiable para temperaturas menores de 150 °C donde falla el de Na/K.

La ecuación de este geotermómetro es empírica (fig. 11) y su significado aún no está claro, pero obviamente debe reflejar el equilibrio del agua con minerales como los feldespatos alcalinos, silicatos o carbonatos de calcio, arcillas, zeolitas, etc.

Este método es relativamente insensible a la dilución, aun cuando la relación  $[(\text{Ca})^{1/2}]/\text{Na}$ , puede afectarse un poco en razón de la raíz cuadrada de Ca. Puede dar resultados erróneos debido a una reacción continua del agua, con los minerales a temperaturas inferiores a las del reservorio de más alta temperatura, o por problemas debidos a precipitación de  $\text{CaCO}_3$ . Una reacción continua podría producir temperaturas muy bajas, debido a un incremento del contenido de Ca, mientras que la precipitación de  $\text{CaCO}_3$ , puede resultar en temperaturas del subsuelo erróneamente altas.

La precipitación del  $\text{CaCO}_3$  puede ser debida a la perdida de  $\text{CO}_2$  después que el agua ha abandonado el reservorio, ya sea en el trayecto o en la superficie. La sensibilidad del geotermómetro a esta pérdida de Ca, puede ser probada para cada caso particular, recalcando los valores estimados de temperatura, doblando o triplicando la cantidad de calcio. Un cambio de unos pocos grados, indica que la pérdida de Ca no altera apreciablemente la temperatura estimada del reservorio.

La ecuación propuesta es la siguiente:

$$t (^{\circ}\text{C}) = \frac{1647}{NKC + 2,24} - 273,15$$

$$\text{donde } NKC = \log_{10} (\text{Na}/\text{K}) + B \times \log_{10} [(\text{Ca})^{1/2}/\text{Na}]$$

Las concentraciones se presentan en unidades de molalidad, es decir calculadas como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Ca} &= \text{ppm Ca}/40080 \\ \text{Na} &= \text{ppm Na}/22991 \\ \text{K} &= \text{ppm K}/39102 \end{aligned}$$

El parametro  $B$  puede tomar los valores de  $1/3$  o  $4/3$ , según el siguiente esquema de calculo:

(1) Calcule  $\log_{10} [\text{Ca}]^{1/2} / \text{Na}$ . Si el valor es menor o igual a cero, vaya a (2). Si el valor es positivo, vaya a (3).

(2) Calcule la temperatura con  $B = 1/3$ , y el valor resulante sera el estimado de la temperatura del reservorio geotérmico.

(3) Calcule la temperatura con  $B = 4/3$ . Si  $t$  resulta menor que  $100^\circ\text{C}$ , entonces use este estimado. Si  $t$  resultase mayor o igual que  $100^\circ\text{C}$ , entonces vaya a (2).

En el uso práctico cuando se estudia un area donde en general las temperaturas estimadas son mayores de  $100^\circ\text{C}$ , si hay alguna con unas decenas menos, es preferible usas la misma ecuación con  $B = 1/3$ , para poder llegar a valores comparables, ya que el cambio de  $1/3$  a  $4/3$  produce una reducción apreciable de la temperatura estimada.

PACES (1975) recomienda la aplicación de un factor de corrección a este geotermómetro, para aguas con menos de  $75^\circ\text{C}$  y alto contenido de CO<sub>2</sub>. Esta corrección ha sido muy poco aplicada en la literatura, y parece dar resultados erráticos.

BENJAMIN *et al.* (1983) proponen una modificación al geotermómetro de Na-K-Ca, consistente en la presentación de nuevas constantes, calculadas utilizando mínimos cuadrados con un numero mayor de *datos confiables*, y tomando en cuenta datos experimentales con minerales de bajas temperaturas, como zeolitas, arcillas, y otros minerales de alteracion de bajas temperaturas. Dichos autores consideran esta nueva formulación como mas adecuada, dentro de un intervalo de temperatura dado en sistemas de soluciones acuosas poco concentradas, y en una gran variedad de rocas alteradas conteniendo tecto- y filosilicatos. Se presentan dos ecuaciones, para diferentes intervalos de temperatura:

$$NKC = \log_{10} (\text{Na/K}) + B \times \log_{10} [\text{Ca}]^{1/2} / \text{Na}$$

Para temperatura menor de  $100^\circ\text{C}$ .

$$t (\text{°C}) = \frac{22.000}{NKC + 64,2} - 273,15 \quad B = -6,3$$

Para temperatura mayor de  $100^\circ\text{C}$ .

$$t (\text{°C}) = \frac{1416}{NKC + 1,69} - 273,15 \quad B = +0,055$$

FIG. 10 RELACION T Vs Na/K

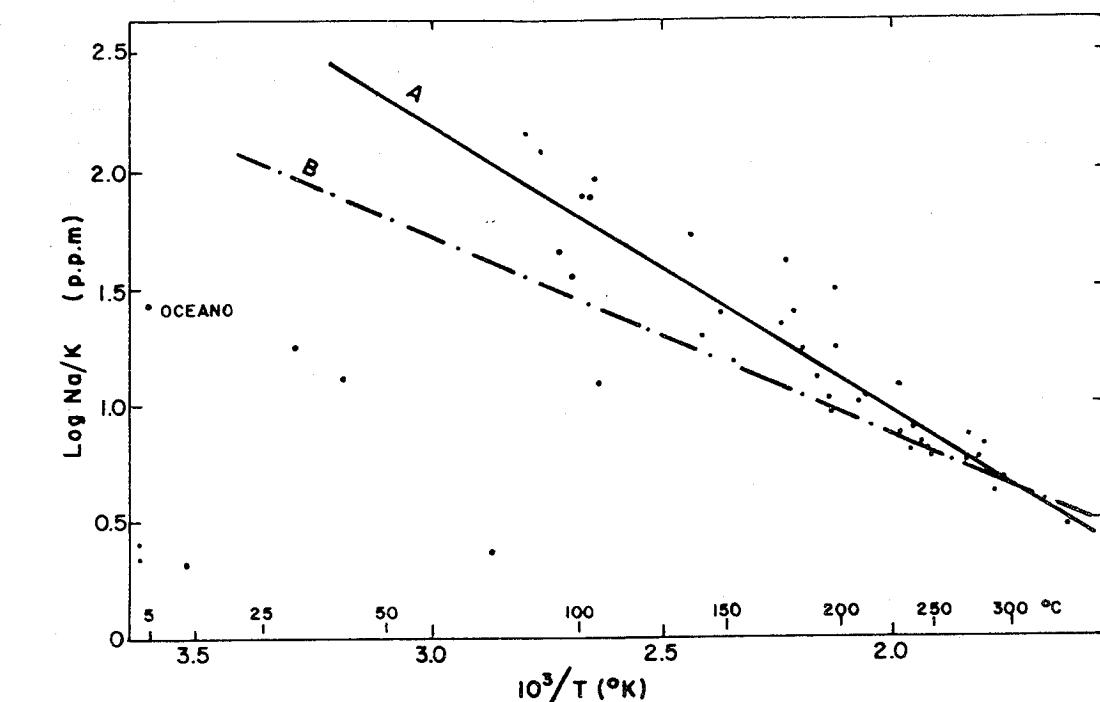
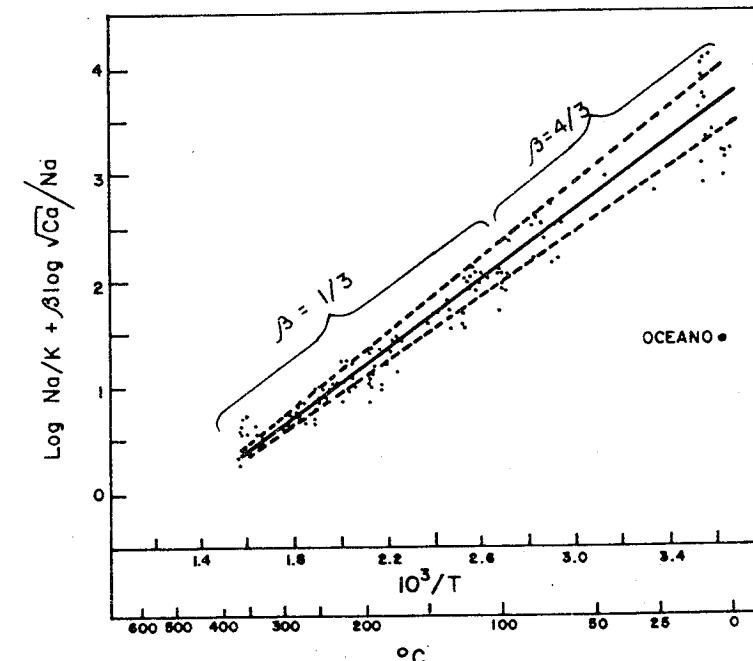


FIG. 11 RELACION T Vs f(Na,K,Ca) DEL GEOTERMOMETRO DE Na-K-Ca



### Geotermómetro de Na-K-Ca-Mg

FOURNIER y POTER (1979) desarrollan un método para corregir las temperaturas estimadas por el geotermómetro Na-K-Ca, para cuando  $t(\text{Na-K-Ca}) > 70^\circ\text{C}$  y  $R < 50,0$ , donde  $R = [\text{Mg} / (\text{Mg} + \text{Ca} + \text{K})] \times 100$ , con las concentraciones de los cationes expresadas en equivalentes. Las aguas con  $R$  mayor de 50 serán probablemente derivadas de acuíferos frios con temperaturas aproximadamente iguales a las medidas en el manantial, independientemente a valores calculados mas altos por el geotermómetro de Na-K-Ca. La corrección es empírica y se basa en las relaciones lineales, presentadas en las figs. 12 y 14. Se utilizan las siguientes ecuaciones:

Para  $R$  entre 5 y 50.

$$d t \text{ Mg} = 10,66 - 4,7415 R + 325,87 (\log R) - [1,032 \times 10^2 \times (\log R)]/T - [1,968 \times 10^7 \times (\log R)]/T + [1,605 \times 10^5 \times (\log R)]/T$$

Para  $R$  entre 0,5 y 5,0.

$$d t \text{ Mg} = -1,03 + 59,971 (\log R) + 145,05 (\log R) - [36711 \times (\log R)]/T - [1,67 \times 10^2 \times (\log R)]/T$$

donde:

$dt$  es la temperatura en  $^\circ\text{C}$  a ser sustraída del valor calculado de Na-K-Ca.

$T$  es la temperatura calculada por Na-K-Ca en K.

$R = (\text{Mg}/(\text{K}+\text{Ca}+\text{Mg})) \times 100$ , en concentraciones expresadas en equivalentes (eq.  $\text{Mg} = \text{ppm Mg}/12,156$ ; eq.  $\text{Ca} = \text{ppm Ca}/20,04$ ; eq.  $\text{K} = \text{ppm K}/39,102$ ).

El proceso a seguir en la corrección es como sigue:

- a) Si  $t(\text{Na-K-Ca}) < 70$  no continúe con la corrección de Mg.
- b) Si  $t(\text{Na-K-Ca}) > 70$  y  $R > 50$ , se asume que el agua del acuífero es relativamente fria y no continúe con la corrección de Mg.
- c) Si  $5 < R < 50$ , calcule  $d t \text{ Mg}$  con la primera ecuación dada. Si da negativo no aplique la corrección.
- d) Si  $0,5 < R < 5$  haga lo mismo que en (c) pero con la segunda ecuación.

e) Si  $R < 0,5$  no aplique la corrección.

f) Aplique la corrección en los casos apropiados sustrayendo  $d t \text{ Mg}$  del valor calculado para  $t(\text{Na-K-Ca})$  ( $\text{en } ^\circ\text{C}$ ).

Esta corrección a pesar de haber sido propuesta en 1979, aun no ha sido ampliamente utilizada, por consiguiente no hay suficiente experiencia acumulada sobre la confiabilidad de una aplicación generalizada. El mismo FOURNIER (1982), autor de este procedimiento señala que no hay una regla única sobre cuando escoger los resultados corregidos o no, pero sugiere la siguiente regla: (a) si el agua realmente procede de un reservorio de  $t < 100^\circ\text{C}$ , debe aplicarse la corrección; (b) si  $t > 100^\circ\text{C}$  y el agua en su camino a la superficie obtiene mayor cantidad de Mg, entonces la corrección por Mg, producirá valores muy bajos.

### Geotermómetro de Na/Li y Li

Utilizando una amplia variedad de datos geoquímicos, inclusive de baja temperatura, FOUILLAG y MICHAUD (1981), proponen diversas ecuaciones geotermométricas empíricas que utilizan los valores de Na/Li y Li (fig. 15). Según sus autores para  $t(r) < 100^\circ\text{C}$ , los estimados deben ser mejores que los producidos por otros geotermómetros. Se utilizan las siguientes ecuaciones:

a) Para aguas con  $Cl < 7000 \text{ ppm}$ .

$$t (\text{in } ^\circ\text{C}) = \frac{1000}{0,38 + \log (\text{Na/Li})} - 273,15 \quad r = 0,965$$

$$t' (\text{in } ^\circ\text{C}) = \frac{2258}{1,44 - \log (\text{Li})} - 273,15 \quad r = 0,936$$

b) Para aguas con  $Cl > 10000 \text{ ppm}$ .

$$t (\text{in } ^\circ\text{C}) = \frac{1195}{-0,13 + \log (\text{Na/Li})} - 273,15 \quad r = 0,980$$

$$t (\text{in } ^\circ\text{C}) = \frac{1436}{0,61 - \log (\text{Li})} - 273,15 \quad r = 0,910$$

Na y Li representan la concentración en unidades molales, que se calculan como sigue:

$$\text{Na} = \text{ppm Na} / 22991 \quad \text{y} \quad \text{Li} = \text{ppm Li} / 6939$$

Se puede prever que utilizando el geotermómetro de Li, los resultados podrán estar muy afectados por mezclas de aguas (por tratarse de un solo elemento) y separación de vapor. Estos factores, afectarían mucho menos a la relación Na/Li.

FIG. 12 RELACION T Vs Mg/K

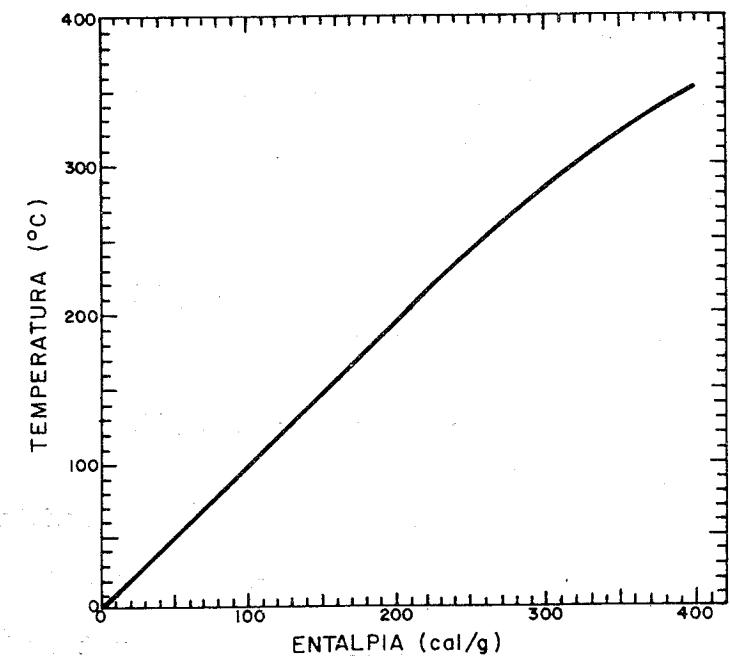
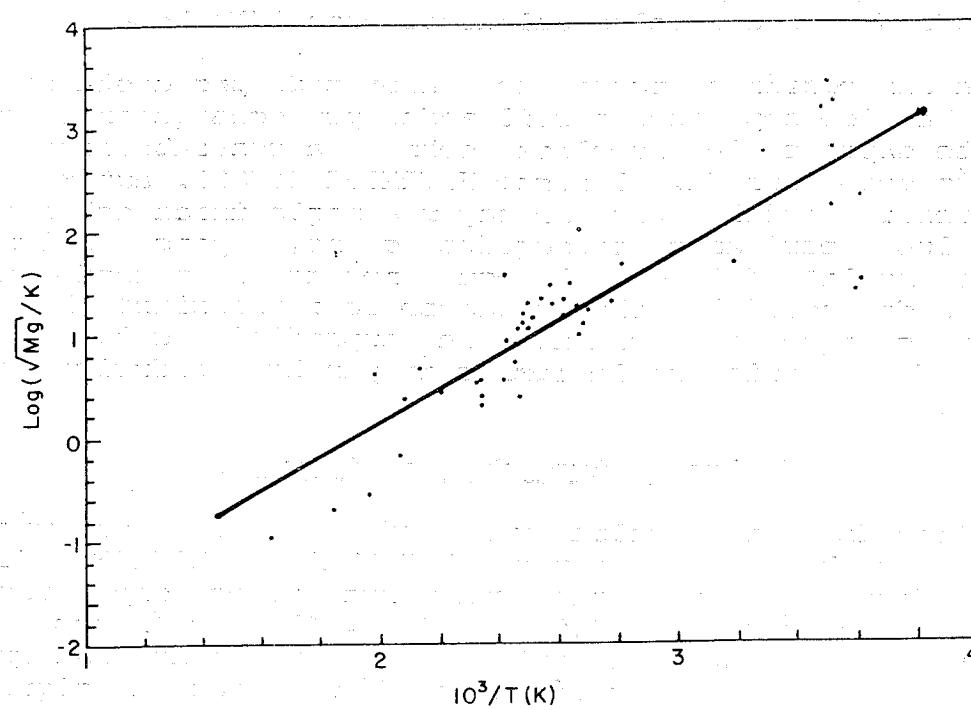


FIG.13 RELACION TEMPERATURA-ENTALPIA (cal/g) PARA AGUA LIQUIDA EN EQUILIBRIO CON VAPOR.

FIG 14 RELACIONES T Vs  $\frac{Ca}{Mg}$  Y  $\frac{Mg}{Na}$ , EN LAS CUALES ESTA BASADA LA CORRECCION POR Mg DEL GEOTERMOMETRO Na-K-Ca

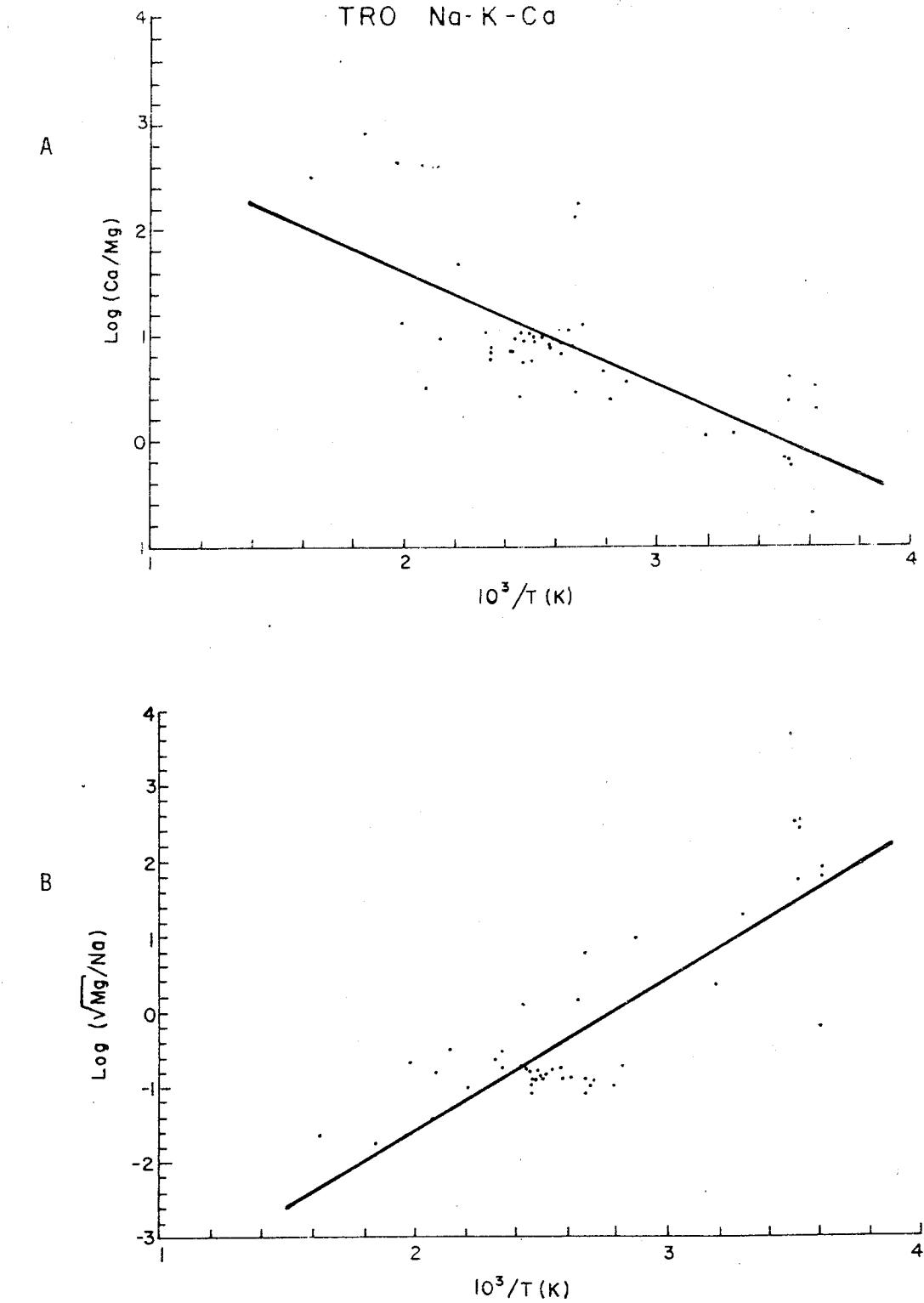
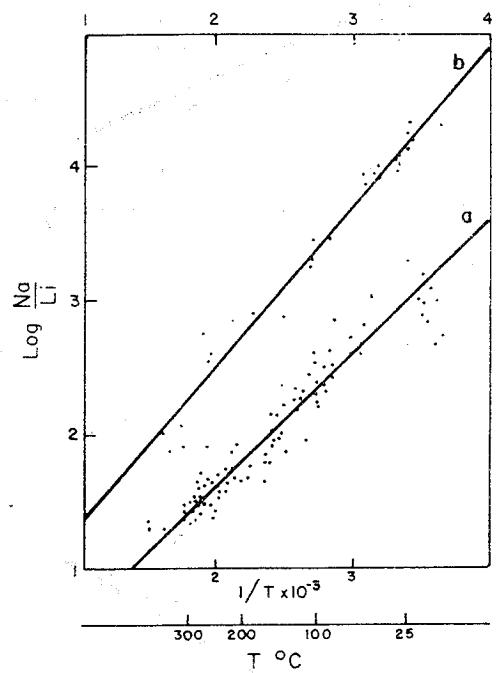
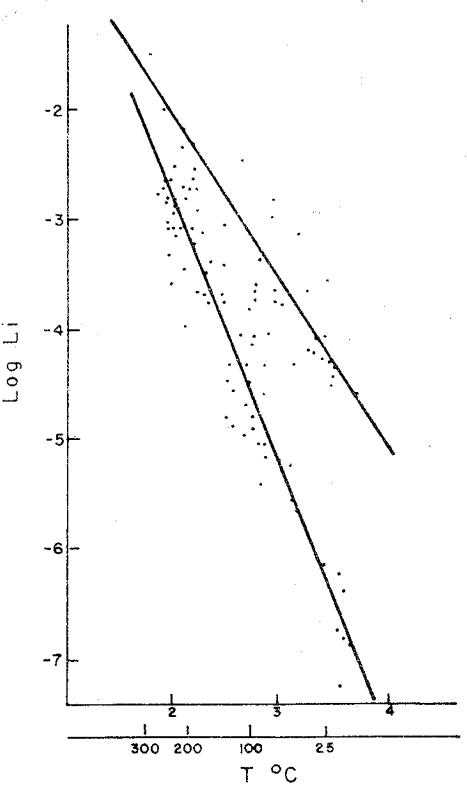


FIG. 15 RELACIONES T VS  $\frac{Na}{Li}$



LA CURVA SUPERIOR ES VALIDA PARA CI > 10.000 ppm

LA CURVA INFERIOR ES VALIDA PARA CI < 10.000 ppm



#### Interpretaciones combinando resultados de varios geotermómetros.

FOURNIER et al. (1979) y Fournier (1982) basandose en información de diversos campos geotérmicos conocidos, resumen algunas características de los resultados combinados de los geotermómetros de SiO<sub>2</sub> y Na-K-Ca-(Mg), para ello proponen el gráfico t(cuarzo) vs. t(Na-K-Ca-Mg) (fig. 16).

(a) Si los puntos correspondientes a las aguas del sistema, caen aproximadamente cerca de la linea de igual temperatura, no debe haber ocurrido mezcla con aguas frías superficiales, y si lo hubo, el sistema se reequilibró totalmente despues de la mezcla.

(b) Si los puntos caen por encima de la linea de igual temperatura [t(cuarzo) > t(Na-K-Ca-Mg)], entonces podemos tener una concentración anomala de SiO<sub>2</sub>, quizas por evaporación o por disolución de sílice amorfa, etc.

(c) Si los puntos caen por debajo de la linea de igual temperatura [t(Na-K-Ca-Mg) > t(cuarzo)], entonces pudiera interpretarse: (1) que hubo mezcla con otro tipo de agua, sin tiempo para reequilibrarse con la roca adyacente, ya que en aguas mezcladas usualmente t(SiO<sub>2</sub>) < t(Na-K-Ca-Mg); (2) hubo precipitación del SiO<sub>2</sub> al enfriar mientras que las proporciones requeridas para el geotermómetro Na-K-Ca permanecen constantes; (3) hubo precipitación de calcita u aragonito por perdida de CO<sub>2</sub>, sin ajuste de Na/K por reacciones con arcillas, zeolitas u otros minerales.

Asi mismo, hay algunas otras relaciones entre resultados de varios geotermómetros:

(a) t(SiO<sub>2</sub>), t(Na-K-Ca) y t(Na/K) > 150°C, y Mg es bajo, entonces t(r) > t(geo).

(b) Si [t(cz) o t(cal)] y t(Na-K-Ca) < 100°C, y t(Na/K) >> 100°C, entonces t(Na/K) debe ser erroneo.

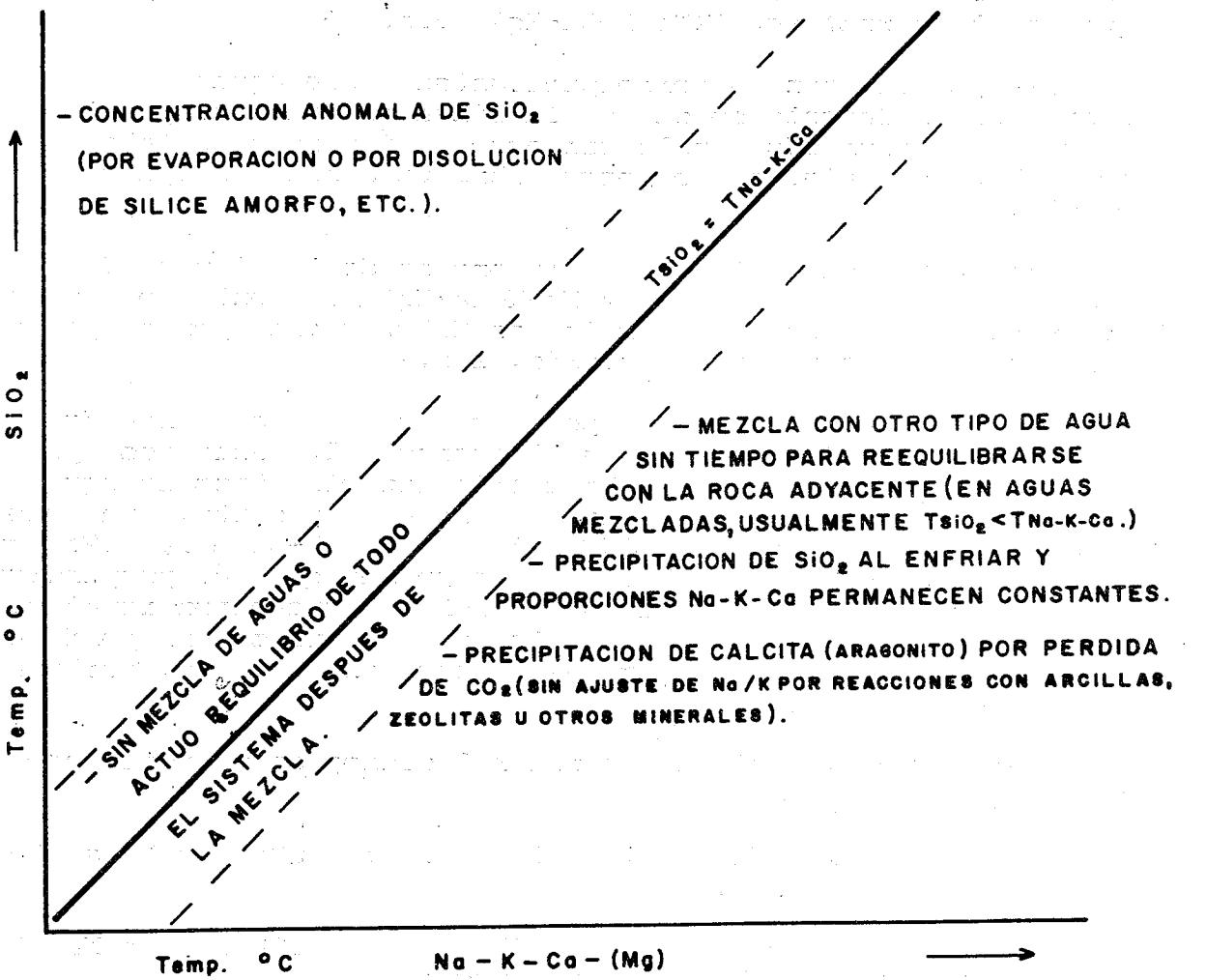
(c) Si t(Na-K-Ca) > t(Na/K), Mg es bajo, y hay precipitación de calcita, entonces t(Na-K-Ca) puede ser muy alto.

#### 2.4.6. Geotermómetros con modelos de mezcla

FIG. USO DEL GRAFICO  $T_{SiO_2}$  vs.  $T_{Na-K-Ca}$

16

Según FOURNIER et al., (1979)



#### Generalidades

En el proceso de ascenso del agua caliente esta se puede enfriar por: ebullición, conducción, mezcla con agua fría poco profunda o por una combinación de estos procesos. En algunos casos favorables se puede averiguar cual de estos procesos ocurre.

El agua que asciende rápidamente y directamente de un acuífero con poco enfriamiento conductivo, es apropiada para que refleje la composición química del equilibrio agua - roca a la temperatura del acuífero. Cuando el acuífero está a una temperatura por debajo del punto de ebullición atmosférico, el agua puede emerger a una temperatura cercana a la del acuífero. Pero cuando el acuífero está a una temperatura superior al de la ebullición atmosférica, el agua se puede enfriar por ebullición pudiendo emerger como una fuente hirviente, y la separación de vapor durante el ascenso debe ser considerada.

Cuando el agua asciende lentamente o indirectamente a la superficie, el enfriamiento conductivo es probable que ocurra. Aun el agua de fuentes de gran caudal pueden enfriarse considerablemente por conducción, si se mueven horizontalmente por gran distancia y a poca profundidad. En este caso, fuentes diversas a lo largo de la dirección de flujo o fuentes con descarga diversa pueden tener temperaturas diferentes pero composición similar.

Cuando el agua en su ascenso se enfria por mezcla con agua subterránea fría, las fuentes de diferentes temperaturas seguramente tendrán diferente composición química. Por ejemplo, las variaciones de Cl y B serán mayores entre las fuentes individuales de un grupo, de lo que se podría esperar por pérdida de vapor. En estos casos, si se dispone de suficiente información adecuada, se puede llegar a estimar la temperatura del componente caliente. Cuando el agua caliente se mezcla con agua fría poco profunda, el equilibrio químico parcial o completo pudiera o no ocurrir después de la mezcla. Si el equilibrio químico ocurre, los geotermómetros químicos indicarán dichas temperaturas de mezcla y no reflejarán la temperatura del componente caliente más profundo. Por consiguiente, tanto si se estableció o no el equilibrio después de la mezcla, la temperatura del componente de agua caliente no puede ser estimada por las relaciones de solubilidad (e.g.:  $SiO_2$ ), a menos que se tome en cuenta dicha mezcla. Por otra parte, la temperatura estimada del componente caliente, a partir de los geotermómetros que contienen relaciones de elementos, pueden estar poco afectadas por la mezcla, siempre que:

- a) El componente de agua caliente profunda tenga concentraciones de los elementos indicadores, mucho mayores que el agua fría poco profunda y muy diluida.

b) Que no ocurran reacciones químicas que afecten apreciablemente los elementos indicadores, después de la mezcla. En referencia al geotermómetro de Na-K-Ca, la dilución lo afectara parcialmente debido al término de la raíz cuadrada de Ca.

#### Demostración de sistemas con mezcla.

El problema con cualquier sistema hidrotermal no conocido, es probar si el agua que sale a la superficie esta mezclada. BROOK *et al.* (1978:2) señala que el método mas sencillo es constatar una tendencia lineal entre el contenido de cloro y la temperatura del agua. Esto se debe a que normalmente el agua subterránea normal tiene un bajo contenido de Cl, mientras que el agua de sistemas de altas temperaturas generalmente contiene por lo menos varios cientos de ppm de Cl.

También se ha propuesto la constatación de relaciones lineales entre la composición isotópica del agua (deuterio y  $^{18}\text{O}$ ) contra Cl. Lo mismo que relaciones lineales entre temperatura y otros componentes (B, F, TSD, SiO<sub>2</sub>, etc.), y relaciones lineales en los diagramas de Piper.

#### Modelo de mezcla usando el gráfico de SiO<sub>2</sub> vs Entalpía.

(Modelo de mezcla para fuentes de aguas tibias, *warm spring mixing model*).

TRUESDELL y FOURNIER (1977) proponen un método sencillo que utiliza el gráfico de SiO<sub>2</sub> disuelto (curva de solubilidad del cuarzo), contra entalpía. Las unidades empleadas para la entalpía son preferiblemente cal/g (fig. 9), ya que por debajo de 100 °C su valor es aproximadamente un equivalente numérico a la temperatura en °C (fig. 13). Este método es aplicable solamente a fuentes no hirvientes, y por eso se ha denominado *modelo de mezcla para fuentes de aguas tibias* ('warm spring mixing model'). El método tiene dos alternativas:

a) Para la situación en que no ha habido pérdida de vapor antes de la mezcla (fig. 17a y 18a). En este caso se representa la concentración del SiO<sub>2</sub> y la entalpía (temperatura) de la fuente fría y una caliente del sistema, puntos A y B (fig. 18A), se dibuja la linea recta entre ellos y se obtiene la intersección con la curva de solubilidad, punto C, lo cual dará el contenido de SiO<sub>2</sub> y la entalpía del componente de agua caliente profunda. La temperatura puede derivarse ya sea, graficamente (fig. 13), por tablas (KEENAN *et al.*, 1969), o con la ecuación presentada por FOURNIER y POTTER (1982).

b) Para la situación cuando una máxima cantidad de vapor se ha perdido del agua caliente antes de la mezcla (fig. 6 y 17b). Entonces igualmente se representan los datos de los manantiales de agua fría y caliente (A y D, en la fig. 6). Se dibuja la linea recta y se la extiende hasta la entalpía del agua líquida residual a la temperatura asumida de separación y pérdida del

vapor (cerca de 100 °C). En este caso el agua líquida residual antes de la mezcla, tendrá una entalpía cercana a 100 cal/g (punto E, fig. 6). Para obtener la entalpía del componente de agua caliente, se mueve horizontalmente hasta la curva de máximo escape de vapor (punto F). El contenido original de SiO<sub>2</sub> del componente de agua caliente esta dado en el punto G. Si se asume que el vapor escapa a una temperatura mayor de 100 °C, entonces la entalpía original del agua caliente estará en un valor a lo largo de la linea horizontal, entre E y F.

Autores como LEVITE y ECKSTEIN (1978) y TENU *et al.* (1981) han utilizado un método similar al primer caso presentado, pero aplicado a sistemas hidrotermales donde hay varios manantiales termales producto de una mezcla de la misma agua caliente profunda, con diversas proporciones de un agua superficial mas fria. En este caso se representó la composición de los diversos manantiales (fig. 18b), luego ya sea a ojo o por mínimos cuadrados, se obtiene la mejor recta y su intersección con la curva de solubilidad del cuarzo, en donde se estima la temperatura y contenido de SiO<sub>2</sub> del componente caliente, así como las fracciones de mezcla. Este último método solo debe ser empleado cuando el coeficiente de correlación de los puntos es estadísticamente significativo.

Las dos posibilidades de calculo dadas anteriormente, no deben ser utilizadas para fuentes hirvientes, donde parte del calor puede haberse extraído del sistema debido a la ebullición.

FOURNIER (1979) sugiere que puede haber mezcla en las fuentes de gran caudal, donde las  $t(\text{geo}) > 50\text{ }^{\circ}\text{C} + t(c)$ . En el caso de fuentes aisladas únicas, donde no se pueden ver variaciones entre varias, se puede juzgar si hay mezcla a partir de las variaciones estacionales.

Sea cual sea la razón para interpretar que hubo mezcla, siempre se hace necesario poseer un amplio número de análisis físico-químicos de todos los manantiales, tanto termales como frios de una zona dada. Este es un punto fundamental que debe considerarse dentro de la estrategia de toma de muestras. Generalmente un análisis químico individual de un manantial termal, independientemente a lo preciso, exacto o exhaustivo del mismo, no es de mucha utilidad para las interpretaciones de geotermómetros.

FIG. 17 DIAGRAMAS ESQUEMATICOS DE RELACIONES DE MEZCLA DE AGUAS FRIAS Y TERMALES.  
( EXPLICACION EN EL TEXTO )

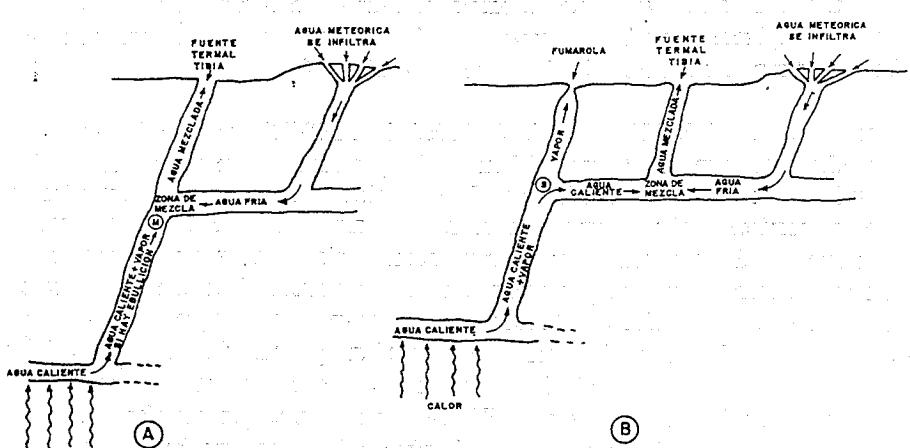
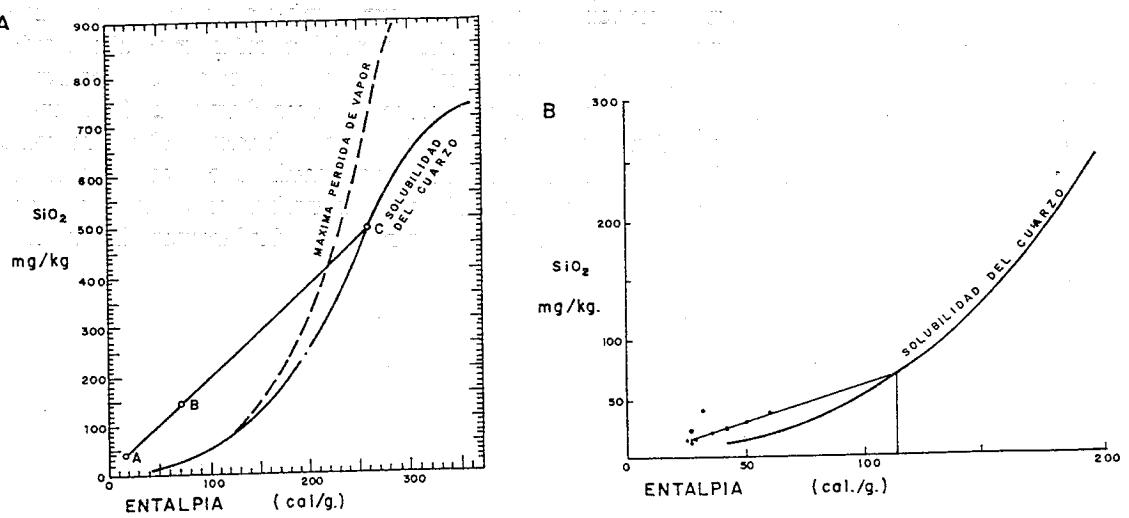


FIG. 18 GRAFICOS EXPLICATIVOS DEL MODELO DE MEZCLA DE FUENTES TIBIAS (w.s.m.m.)



Modelo de mezcla para fuentes de aguas hirvientes. Diagramas entalpía - cloro.

Este modelo fue formulado por TRUESDELL y FOURNIER (1976) en forma gráfica, y resuelto analíticamente por TRUESDELL (1976b), sirve para predecir las temperaturas y salinidades del subsuelo, relaciones de ebullición y mezcla. Es aplicable cuando se dispone de fuentes termales que brotan a la temperatura de ebullición atmosférica.

La discusión que se expondrá a continuación se basará fundamentalmente en el trabajo de FOURNIER (1979), donde se revisa la aplicabilidad de este tipo de diagramas, y se hará en referencia a la fig. 8. Las aguas que resultan de la mezcla de un agua de baja entalpía (baja temperatura) como G, con aguas de alta entalpía como P, B o C, estarán representadas por puntos sobre las líneas GP, GB o GC. Por ejemplo, las aguas M, N y R pudieran ser el resultado de una mezcla de las aguas G y P en diferentes proporciones. Así mismo D y L pueden resultar de la mezcla de G y C. Usualmente aguas como G tienen un contenido de cloro mucho menor que las P, B o C, excepción hecha de lugares donde el agua de mar está involucrada.

Las aguas inicialmente a 300°C o menos, perderán el calor primariamente por la formación y separación de vapor, resultando una concentración de cloro, y los parámetros del sistema entalpía y cloro, variarán según una línea recta que se extienda alejándose de la entalpía del vapor a la temperatura de separación del mismo (punto S). FOURNIER (1979:6) sugiere utilizar para el vapor (punto S) una entalpía promedio de 664 cal/g y un valor de cero para cloro. Desde este punto S se trazarán líneas rectas radiales, indicadoras de la variación del sistema debido a la concentración por evaporación. Como ejemplo, los puntos B, C y E, pudieran estar relacionados a P por ebullición a lo largo de la curva 1. La misma relación existiría entre K y N.

El punto L podría ser el resultado de la mezcla de G y C y como esta muy por debajo del punto de ebullición, a menos que permanezca en el subsuelo por meses o semanas a esa temperatura, no es probable que haya un reequilibrio agua-roca después de la mezcla. Por su misma temperatura baja, el contenido de cloro no es probable que cambie durante el resto del movimiento a la superficie, a menos que ocurra más mezcla. Al contrario de este caso, el agua D también formada por una mezcla de G y C, por su temperatura bastante alta, si pudiera estar propensa a un reequilibrio después de la mezcla. Esta agua D pudiera hervir en su camino de ascenso, causando un aumento del contenido de cloro, emergiendo a 100°C y con un contenido de cloro mayor al del punto D del cual se deriva (ver punto J).

El punto A sirve para ilustrar que un agua profunda, P, puede estar relacionada con A por varios mecanismos: (a) el agua P puede primero hervir y producir un agua B, que a su vez puede

mezclarse con G para producir A; (b) P puede primero mezclarse con algo de G y producir M, la cual por ebullición produciría A; (c) A también pudiera proceder directamente de P por enfriamiento conductivo sin hervir ni mezclarse.

En muchos campos geotérmicos, se encuentra que toda el agua termal que llega a la superficie está mezclada, o que se ha reequilibrado en acuíferos intermedios o poco profundos. Por consiguiente, el uso de geotermómetros simples como los de SiO<sub>2</sub> o de Na-K-Ca, no nos dará una indicación adecuada de la temperatura del componente más caliente y más profundo del sistema. Para ello el uso de los diagramas entalpía-cloro pueden ayudar a resolver el problema, como se explicará a continuación:

La entalpía (y concentración de Cl) de aguas subterráneas como N, A y C, puede obtenerse ya sea por mediciones directas de pozos poco profundos, o basándose en geotermómetros como SiO<sub>2</sub> o Na-K-Ca, con corrección por pérdida de vapor, o por estimados con el modelo de mezcla de fuentes de aguas tibias [t(wsmm)].

Como un ejemplo del uso de los datos de aguas termales, la entalpía de C puede obtenerse a partir de la composición de fuentes como E, F o L o una combinación de ellas:

(a) Si tenemos una fuente hirviendo vigorosamente y descarga alta, entonces debe procederse a una corrección por la probable máxima concentración evaporativa del cloro, debido a la ebullición en su trayecto a la superficie. Para hayar las coordenadas del punto C, se procede como sigue: mediante el uso de geotermómetros determine la entalpía del agua que suple a E. Represente los datos entalpía y cloro de la fuente termal hirviante, punto E. Dibuje la recta E-S y sobre esta linea marque la entalpía previamente obtenida de C. Esto nos da un método gráfico para determinar el punto C, con su máxima corrección por posible separación de vapor. Para fuentes de mas bajo flujo (< 200 l/min), estas pueden haber estado sujetas a un enfriamiento parcialmente por evaporación y por conducción. En este caso el contenido de cloro calculado por el método anterior puede ser ambiguo.

(b) Por otra parte si F fuera una fuente no hirviente, es probable que no sea un agua mezclada o que haya ocurrido reequilibrio despues de la mezcla, y pudiera asumirse que no se ha separado vapor durante el ascenso a la superficie, y el punto C caería justamente sobre F con la entalpía obtenida anteriormente.

(c) Para complementar el ejemplo, si uno utilizara una fuente no hirviente L, con una composición que sugiera que es un agua mezclada y sin reequilibrio despues de la mezcla [e.g.: t(SiO<sub>2</sub>) muy diferente y menor a t(Na-K-Ca)], entonces se puede utilizar el modelo de mezcla de fuentes de aguas tibias [t(wsmm)] (figs. 6, 18).

Volviendo a la fig. 8, asumiremos que la entalpía y el contenido de cloro de A y N se han estimado usando los procedimientos indicados [el punto N pudo obtenerse ya sea por el modelo de mezcla de fuentes tibias, con la fuente R, o de la fuente hirviente K; el punto A de la fuente hirviente H]. Si vamos un paso mas alla, y asumimos que A y N están relacionadas a un agua mas caliente y mas profunda comun, entonces esta agua deberá estar representada en el campo entalpía-Cl en o por encima de A y N. Geometricamente veremos que el punto de mínima entalpía que satisface las condiciones es la intersección de las líneas G-N y A-S, y la solución será el punto M. Con el mismo razonamiento, los puntos C y N pudieran estar relacionadas con un agua común cuya mínima entalpía estaría dada por el punto P. Este último procedimiento, por el cual se llega a interpretar la existencia de aguas calientes profundas, utilizando fuentes termales hirviientes sujetas a mezcla con aguas frias, es lo que se conoce como el *modelo de mezcla de fuentes de aguas hirviientes* (en inglés: *boiling spring mixing model*, y la temperatura estimada se abreviará como t(bsmm). En el programa GEOTRV (Tomo II, cap. 1), pudimos resolver este modelo, utilizando procedimientos de geometría analítica.

### 3. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DE VENEZUELA (ASPECTOS GEOLOGICOS Y DESCRIPTIVOS)

#### 3.1. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DE LAS CUENCAS DE LOS GOLFOS DE CARIACO Y PARIA, ESTADO SUCRE

Las manifestaciones geotérmicas del estado Sucre fueron estudiadas en detalle por HEVIA y DI GIANNI (1983), y los interesados en las descripciones de cada una deberán consultarlas en tal trabajo. A continuación se presenta un resumen de los aspectos descriptivos y geológicos.

##### 3.1.1. Fuentes termales del flanco sur de la península de Paria.

Este grupo de fuentes termales se localiza desde el poblado de Irapa al este, hasta Tunapuy al oeste, en las localidades de Maraval, Qda. Seca, Sabanas de Venturini y No Carlos. Brotan ya sea en las rocas metamórficas de la Península, o en las planicies aluvionales del sur de la misma.

La fuente de Maraval brota de rocas de la Formación Macuro, con una temperatura de 31°C, y presenta depósitos de calcita.

Las fuentes de Quebrada Seca hasta No Carlos, brotan en el aluvión, pero con afloramientos cercanos de la Formación Guinimita. La máxima temperatura medida en esta zona es de 51°C y presentan el mayor TSD de todo el estado Sucre, a excepción de los manantiales de la península de Araya. Las fuentes de No Carlos, constituyen un conjunto de por lo menos 15 manantiales que brotan de unos pequeños conos de travertino, donde se ha estimado una descarga total superior a los 100 l/min.

En los mapas geológicos no aparecen fallas en esta zona, pero la linealidad de los afloramientos de las rocas metamórficas se debe seguramente a fallas normales con rumbo EW, cubiertas por los aluviones recientes.

##### 3.1.2. Manifestaciones geotérmicas del sur de El Pilar.

En la región de Cumacatal, Catana, Mare Mare y Sabaneta al sur y SE de El Pilar, aparecen numerosas fuentes termales y frias sulfurosas, que para los efectos de su descripción, las agruparemos basandonos en su ubicación geográfica y sus características químicas (estos aspectos los trataremos en el Capítulo 4). Casi todas estas fuentes brotan a partir de rocas aluvionales (aluviones recientes o terrazas Pleistocenas), con

afloramientos cercanos de la Formación El Cantil. En cuanto a la tectónica de la zona existen dos sistemas predominantes de fallas, con rumbos conjugados NE y NW, pero los pocos mapas geológicos existentes son muy diferentes entre si, para llegar a conclusiones mas firmes.

##### **Fuentes termales de Mare Mare, Caño Turuépano.**

Ubicados en plena zona anegadiza del área del Caño Turuépano, existen varias fuentes termales en áreas ligeramente mas elevadas debido a depósitos de travertino de calcita. La temperatura máxima medida fue de 58°C. Tambien hay emanaciones de gas inflamable y quizas CO<sub>2</sub>, e hidrocarburos líquidos.

##### **Fuentes termales de Chagaramitas.**

Estas fuentes no fueron estudiadas, pero según las descripciones dadas por los vecinos, es de características similares a la anterior, en una zona muy pantanosa y de difícil acceso por la misma razón.

##### **Fuentes termales de El Tanque, Catana.**

Aquí se conocen dos fuentes, y en una de ellas tambien brota petroleo. Estan en rocas aluvionales, pero los afloramientos rocosos mas cercanos corresponden a la Formación El Cantil. La temperatura máxima es de 40°C.

##### **Fuentes sulfurosas de Guarimán, río Guaraguara.**

Aquí se estudiaron dos pequeños manantiales sulfurosos, de baja temperatura (28-30°C).

##### **Fuentes sulfurosas de Algarrobito - Santa Ana**

Cerca del caserio de Cumacatal, y mas precisamente, cerca de Algarrobito de localizaron 7 manantiales esencialmente frios (24-26°C) y sulfurosos, en los lugares de: Santa Ana (un manantial con fortísima emisión de CO<sub>2</sub>), El Algarrobito, Ojito de Agua, Chorro de Facho y El Hervidero. Algunos de ellos presentan depósitos de calcita. Estos manantiales se encuentran en las estribaciones norte y este del promiente cerro El Pato, constituido por calizas masivas de la Formación El Cantil, con un notable desarrollo hidrológico cárstico.

##### **Fuente de la Soda de Sabaneta.**

Esta es una pequena fuente fria (25°C), ubicada al sur de El Pilar, brota de afloramientos de la Formación Barranquín y presenta depósitos calcareos.

### 3.1.3. Manifestaciones geotérmicas del oeste de El Pilar:

#### región de Las Minas - Aguas Calientes - Mundo Nuevo.

Esta región es aquella con la mayor densidad de manifestaciones geotérmicas de toda Venezuela, siendo las más espectaculares y de mayor temperatura superficial de todo el país. Por esa misma razón han sido más estudiadas, y en ellas se ha centrado el mayor interés y perspectivas para el desarrollo de un campo geotérmico para la generación de electricidad.

Otro motivo por el cual esta zona ha sido muy estudiada es por la existencia de azufrales, que son manifestaciones geotérmicas con las siguientes características: (1) son áreas que no poseen vegetación, (2) presentan un caos de bloques de rocas de diversos tamaños, (3) estas rocas están muy lixiviadas, donde prácticamente el único mineral remanente es el cuarzo, (4) hay depósitos de diversos minerales debidos a la intensa actividad hidrotermal, (5) las rocas y el suelo de estas zonas poseen un elevado tenor de azufre.

El azufre de esta región ha sido objeto de explotación desde mediados del siglo XIX, destacando una compañía alemana, que a comienzos de siglo construyó un teleférico (el primero de Venezuela), para transportar el azufre desde Las Minas hasta el puerto de Carúpano. Posteriormente han habido diversos intentos fallidos, y hoy en día no es comercial para este fin, por el excedente de azufre en el mercado internacional, procedente de la desulfurización del petróleo. Buenos estudios de esta actividad minera pueden verse en CORTESE (1901, en URBANI, 1982), CHAPMAN (1950), MAXWELL (1955) y SANTAMARIA (1966).

La geología de esta zona ha sido estudiada por numerosos autores, especialmente por pasar en esa región la falla de El Pilar, o más bien el sistema de fallas de El Pilar. Podríamos mencionar las tesis doctorales de CHISTANSEN (1962) y METZ (1965); luego un grupo de trabajos especiales de grado de la U.C.V. [DELGADO, 1976; GIRAL, 1976], coordinados por M. VIGNALI, el cual presenta una visión en conjunto del área (VIGNALI, 1977, 1979); posteriormente se elaboran otras dos tesis doctorales: VIERBUCHEN (1978) y CAMPOS (1981) y en la actualidad está siendo cartografiada por los geólogos V. VIVAS y O. MACSOTAY del M.E.M. De la comparación de estos trabajos, se hace evidente que la zona es extremadamente compleja en su estratigrafía y estructura, tanto es así, que hay muy pocos puntos comunes entre dichos autores. Además de los trabajos citados, que son de geología regional, hay muchos otros que no citaremos, pero que mencionan esta zona, ya sea en referencia a sismología, actividad neotectónica, tectónica de placas, o por estar cerca del posible borde entre las placas del Caribe y la de Sur América. Así mismo hay muchos artículos que mencionan a la zona de fallas de El Pilar, describiendo su morfología e interpretando su actividad y tipo de movimiento. Finalmente mencionaremos que cerca de la zona en consideración, afloran diversos cuerpos de dacitas y riolitas muy jóvenes (5-6 m.a.) (SCHUBERT y SIFONTES, 1984).

El estudio de las fuentes termales de esta zona se inicia con las menciones hechas por HUMBOLDT de información recogida en su viaje al oriente de Venezuela en 1799, citándose sucesivamente en numerosas publicaciones. Los trabajos geológicos ya mencionados, refieren o describen en mayor o menor grado las manifestaciones geotérmicas, pero los trabajos dedicados exclusivamente a geotermia son inéditos: URBANI (1977a y b), WJEC (1982b) y HEVIA y DI GIANNI (1983a), de los cuales se han publicado algunas breves porciones en URBANI (1977c), WJEC (1982a) y HEVIA y DI GIANNI (1983b).

Las numerosas manifestaciones geotérmicas de esta región las agruparemos, basandonos en su ubicación geográfica y las características físico-químicas de las aguas, como sigue:

Área de Aguas Calientes  
Qda. Agua Calientes  
Agua Caliente de Juan Gregorio  
Los Chirriaderos  
Área Las Minas  
Río de Janeiro, El Palmar  
Buena Esperanza  
El Salvaje  
Mina Alemana  
Área de Mundo Nuevo  
Sector este  
Sector central  
Sector oeste.

Todas las manifestaciones geotérmicas de esta región se encuentran en zonas cartografiadas como Formación Barranquín (fig. 62, 65), y están muy cercanas o casi sobre las trazas de fallas del sistema de El Pilar.

#### Manifestaciones geotérmicas del área de Aguas Calientes.

##### Sector quebrada Aguas Calientes.

En la quebrada Aguas Calientes brotan numerosas fuentes termales muy calientes (79 a 98 °C), identificadas como Su.7 a 12. Son muy espectaculares, ya que por brotar en un valle estrecho se elevan columnas de vapor y se presentan extensos depósitos estratificados de carbonatos, con aspecto superficial gruesamente botroidal. Las aguas depositan principalmente calcita, pero también se ha identificado ópalo, cuarzo alfa, aragonito; la muestra Su.12 presenta depósitos de calcita, cuyo difractograma dió un fondo muy elevado sugiriendo la presencia de oxi-hidróxidos de Fe.

A corta distancia de la anterior, se localiza la quebrada Agua Calientes Chiquita, que tiene la particularidad de presentar depósitos tanto de aspecto antiguo, como de reciente formación; entre los depósitos antiguos se identifican minerales siliceos en forma de costra y calcáreos en forma de conos, así

como agregados de calcita en forma de pisolitos de diámetro menor de 1 cm. Los depósitos recientes son de calcita, yeso y epsomita.

#### *Agua Caliente de Juan Gregorio.*

Se localiza a unos 200 m al norte del caserío de Aguas Calientes (Su.28). Es un manantial difuso en una pequeña zona pantanosa, tiene 59°C y fuerte olor a H<sub>2</sub>S.

#### *Los Chirriaderos.*

Ubicado en la qda. La Chorrera (Su.14), al oeste del caserío de Aguas Calientes, de donde brota agua muy caliente (hasta 96 °C) y gas (vapor y CO<sub>2</sub>). El nombre de *Chirriadero*, se debe al ruido producido por la emisión de los gases, a través de sus puntos de emanación. Hay depósitos de calcita muy gruesos y de precipitación actual muy activa, ya que cubre rápidamente troncos, raíces, hojas, etc.

#### *Manifestaciones geotérmicas del área de Las Minas.*

Esta zona se localiza al norte del caserío de Aguas Calientes, pero su mejor acceso es a través de una carretera que llega a las antiguas instalaciones mineras. A diferencia de las fuentes termales del área de Aguas Calientes, las del sector de Las Minas, todas se encuentran brotando de azufrales. Esta área es la que estuvo sometida a explotación de azufre desde fines del siglo XIX, existiendo diversas instalaciones abandonadas. El material explotado era arenisca con azufre, que se conducía por vagones hasta unas calderas con alta temperatura, donde se separaba el azufre. Resulta interesante señalar que CORTESE (1901, en URBANI, 1982), menciona haber encontrado algunos cristales de cinabrio junto al azufre, en la boca de una abertura de las que emanan vapor. A continuación se describirá brevemente cada uno de los azufrales de la zona:

#### *Mina de Río de Janeiro, El Palmar.*

Ubicada al norte de las manifestaciones de la qda. Aguas Calientes. Este azufral (Su.15) tiene un radio de unos 30 m sin vegetación y en él se encuentra una fuente vigorosamente hirviente, con emanaciones de vapor y gas. Aquí se midió una temperatura de 100 °C, que es la mayor de toda fuente termal venezolana. Presenta depósitos de ópalo y cuarzo alfa.

#### *Azufral de Buena Esperanza y Los Chirriaderos de Buena Esperanza.*

El primero (Su.29) es un azufral con emanaciones intermitentes de agua y gas, fuerte olor a H<sub>2</sub>S y ruido debido a las emanaciones gaseosas a través de las rocas. Presenta depósitos de azufre.

La segunda manifestación (Su.17) está a unos 250 m al NE

de la primera, presenta brotes de agua con temperatura cercana al punto de ebullición (86-97°C), y se encuentran muchos huecos por donde salen gases (vapor, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S). Hay depósitos de azufre, de calcita llenando grietas de la arenisca, así como yeso, anhidrita y cuarzo alfa.

#### *La Mina Alemana.*

Este es un azufral (Su.16) de gran extensión, ubicado al norte del caserío de Aguas Calientes, a media distancia entre el poblado y la Mina El Salvaje. El azufral lleva el nombre de Mina Alemana, ya que aquí estaba el centro de operaciones de la extracción de azufre, por parte de la compañía alemana que tenía derecho de concesión a comienzos de siglo. A pocos metros al este del azufral, existió la primera estación del teleférico para conducir el mineral de azufre a Carúpano. En el azufral se localiza un pequeño manantial frío (28°C) y sulfuroso, y en los bloques de arenisca hay depósitos minerales antiguos de azufre, calcita y cuarzo alfa.

#### *Mina El Salvaje.*

Este es uno de los azufrales más extensos de la zona (Su.18), con 400 x 150 m, orientado en dirección N-S. En el mismo hay emanaciones de aguas hirviendo y de más baja temperatura, así como grietas por donde emana vapor de agua y gases (CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S), que por sublimación forman cristales de azufre ortorrombico. El agua de uno de los manantiales no hirviendo actualmente deposita azufre que es extraído por los vecinos. Los manantiales de este azufral son de carácter intermitente, variando muy rápidamente el caudal según la época del año, y aun en lapsos de pocos días. En las rocas se notan depósitos antiguos de silice.

#### *Manifestaciones geotérmicas del área de Mundo Nuevo.*

Mundo Nuevo es un caserío ubicado a 5 km al oeste de Aguas Calientes, y en sus alrededores hay numerosas manifestaciones geotérmicas que podemos agrupar en tres sectores (fig. 65):

#### *Sector este de Mundo Nuevo.*

Este grupo de seis manifestaciones, se encuentra al este del caserío de Mundo Nuevo, consta de tres manantiales de aguas con temperaturas relativamente bajas (25 a 33°C) y pH cercano a 7, y tres azufrales sin emanaciones de agua. En algunos azufrales hay grietas con emanaciones de gases 'tóxicos', ya que matan insectos o pequeñas aves que puedan estar cerca de ellas. Son frecuentes los bloques de arenisca con depósitos de azufre y materia silicea (ópalo y cuarzo alfa), producto de actividad hidrotermal pasada.

#### *Sector central de Mundo Nuevo.*

Bajo esta denominación ubicamos a un grupo de 16

manifestaciones geotérmicas, 7 con emanación de agua termal y 9 azufrales sin agua. Los manantiales tienen altas temperaturas (hasta 97 °C) y un pH muy bajo (prom. 2,6). La fuente mas popular del sector, la conocida como *Aguas Calientes de Mundo Nuevo* (Su.45), desprende columnas de vapor a modo de fumarola. Todas las fuentes tienen olor a H<sub>2</sub>S y generalmente están asociadas a emanaciones de gas (fundamentalmente CO<sub>2</sub>). En los azufrales que no tienen brotes de agua, pueden notarse emanaciones de vapor de agua y gases, que producen ruido, y pueden elevar la temperatura del suelo hasta valores tan altos como 95 °C (fig. 68). Los azufrales siempre presentan depósitos de azufre y sílice (cuarzo y opalo). Es importante señalar lo fuerte de las emanaciones de gas en casi todas las manifestaciones de este grupo, tanto que en algunas fuentes de temperaturas moderadas (como la Su.47 con 45 °C), el burbujeo es tan intenso que le da un aspecto de hervor activo.

#### **Sector oeste y norte de Mundo Nuevo.**

Hacia el norte y oeste del grupo de manifestaciones anteriores (con aguas ácidas y azufrales), se localizan 5 fuentes termales de temperaturas intermedias (35-45 °C), con un pH promedio de 6,6 y de bajo caudal, olor a H<sub>2</sub>S y sin depósitos minerales.

#### **3.1.4. Manifestaciones geotérmicas de la cuenca del río Casanay.**

Esta área se ubica al sur y este del poblado de Río Casanay, se han localizado 3 fuentes termales y 5 azufrales sin agua (fig. 19). Las aguas termales tienen temperatura variable de 32 a 37 °C, con ligero olor a H<sub>2</sub>S y sin depósitos minerales. Los azufrales se encuentran en rocas del Miembro Patao de la Formación Cariaquito y en terrazas Pleistocenas, encontrándose en ellos bloques de lutitas y calizas. Todos presentan depósitos antiguos de azufre ortorrombico y cuarzo alfa, y el Su.32, tiene además yeso y calcita. Estos azufrales están inactivos, sin emanaciones de agua o gases, pero los lugareños señalan cambios, como mayor olor a H<sub>2</sub>S después de temblores o en época de lluvia. Solamente en el azufral de Los Cerritos (Su. 32), se nota que el suelo es ligeramente caliente (máximo 40°C, 17-2-1976).

#### **3.1.5. Fuentes termales del área de Pantoño.**

El pueblo de Pantoño se localiza al oeste de Casanay (fig. 20) en la vía hacia San Antonio del Golfo, en sus alrededores se encuentran 16 manantiales, con temperaturas relativamente bajas (25-37°C, pero usualmente de 29 a 33 °C). Casi todos estos manantiales son de gran caudal, llegando hasta 800 l/min. Debido a la óptima combinación de factores, como ubicación al lado de la carretera nacional, caudal alto y temperatura moderada; cuatro de ellos se utilizan como balnearios: Poza Azul, Cocoteros, Poza Cristal y El Castaño.

#### **3.1.6. Fuentes termales del área de Santa Rosa - Putucual - Chacaracual.**

Aquí se ubican tres fuentes termales, con temperaturas variables de 28 a 47 °C, ubicadas cerca de las localidades mencionadas. Las dos últimas tienen depósitos de calcita, y todas tienen emanaciones de gas (mayoritariamente CO<sub>2</sub>). La fuente más conocida de esta área es la de Agua Caliente de Mere Mere, cerca de Putucual, con caudal relativamente alto, y con el agua de un color verde azulado claro muy característico. Todas estas manifestaciones brotan de aluvión, pero los afloramientos más cercanos a ellas pertenecen a la Formación El Cantil, en las dos primeras y al Grupo Guayuta sin diferenciar en la tercera. En los mapas geológicos disponibles de la región no aparecen fallas cartografiadas en la zona de las fuentes, pero en las imágenes de radar se hace evidente que las fuentes están relacionadas con lineamientos con rumbo casi E-W, que controlan la linealidad del frente de montañas hacia los planos aluvionales del valle del río San Juan. Estas fallas probablemente normales están cubiertas por el aluvión.

#### **3.1.7. Fuente sulfurosa de Santa Cruz, Santa María.**

Ubicada en el sitio de Aguas Calientes en las cercanías del poblado de Santa María, a su vez localizado, a media distancia entre Cariaco y Caripe. El agua mana a una temperatura de tan solo 27°C, con fuerte olor a H<sub>2</sub>S y sin depósitos. Se encuentra en aluvión pero cercano a afloramientos de la Formación El Cantil.

#### **3.1.8. Fuentes termales de la costa sur del Golfo de Cariaco.**

Entre las localidades de Cachamaure, San Antonio del Golfo, Pericantal, Punta Gorda, Punta Cotúa y La Peña, se localizan un total de 17 fuentes termales. Todas brotan de aluvión, pero con afloramientos cercanos de la Formación El Cantil. Casi todas presentan emisiones de gas (CO<sub>2</sub>) y algunas tienen depósitos de calcita. Las temperaturas son variables de 33 a 58°C, siendo las temperaturas más altas las de los cinco manantiales de La Peña, ubicados a escasos 3 m de la orilla del Golfo de Cariaco. En la zona de Cachamaure una de las fuentes está incorporada a un balneario público, y otra brota de un hueco en la roca, 4 m dentro del agua del Golfo de Cariaco.

La mayor acumulación de manantiales de esta área, se encuentra en Punta Cotúa (fig. 21), donde hay extensos depósitos de calcita y el agua en muchos casos, brota de pequeños conos de tal mineral. Todas las fuentes de esta región están controladas por fallas con dirección E-W, pertenecientes al sistema de fallas de El Pilar que controlan la linealidad de la costa sur del Golfo de Cariaco.

### 3.1.9. Fuentes termales del área de Los Ipures, sur de Cumaná.

Se ubican a 10,8 Km al sur de Cumaná, en la vía a Cumanacoa y al lado del río Manzanares. Son conocidas y utilizadas para fines medicinales desde el periodo colonial. En 1876 fueron estudiadas por los conocidos científicos Adolf ERNST, Manuel Vicente DIAZ y Vicente MARCANO. Las fuentes se ubican en rocas de la Formación Barranquín, y deben estar asociadas al sistema de fallas con rumbo N 45° E que controlan el valle del río Manzanares (fig. 22). Las temperaturas medidas por diversos autores varía desde 31 hasta 57,7°C. El agua brota de pequeños cono de travertino de calcita, dentro de zonas muchos mayores de este mineral, y junto al agua hay emisiones de CO<sub>2</sub>.

### 3.1.10. Fuentes del área de Mochima - El Tacal.

En esta área se ubicaron dos manantiales fríos (25 a 27,5 °C). El primero en el río Barbacoas, conocido como La Hervidora de Cuesta Colorada, por el notable desprendimiento de gas, brota de afloramientos de areniscas calcáreas del Miembro Venados de la Formación Barranquín. Este manantial está casi sobre la traza de una falla con movimiento transcurrente sinistral con rumbo N 30° E, que controla la dirección del río Barbacoas y desplaza a varios pliegues a ambos lados de la misma.

El segundo manantial, se ubica en el sector de Bella Vista, en las Montañas de Mochima, brota en rocas de la Formación Barranquín (miembros Picuda - Taguarumó, sin diferenciar). Se ubica a unos 500 m al sur de una falla inversa de varios kilómetros de extensión, con rumbo E-W y buzamiento sur.

### 3.1.11. Manantiales de la Península de Araya,

Aun desde la época colonial se conoce una emanación de agua e hidrocarburos, en las cercanías de Manicuare. Esta brota a pocos metros dentro del agua, y lo hace de afloramientos de esquistos de la Formación Manicuare. A comienzos de siglo al iniciarse la exploración petrolera, esta zona fue objeto de estudios por L. V. DALTON y otros geólogos (DALTON, 1910, en URBANI, 1982).

A pocos kilómetros al norte de la anterior, se ubica un segundo manantial conocido como La Mina de hierro de Cerro Gordo, por las páginas rojas que presenta. Tiene una temperatura de 35,5 °C, hay desprendimiento de burbujas de gas y presenta depósitos calcáreos.

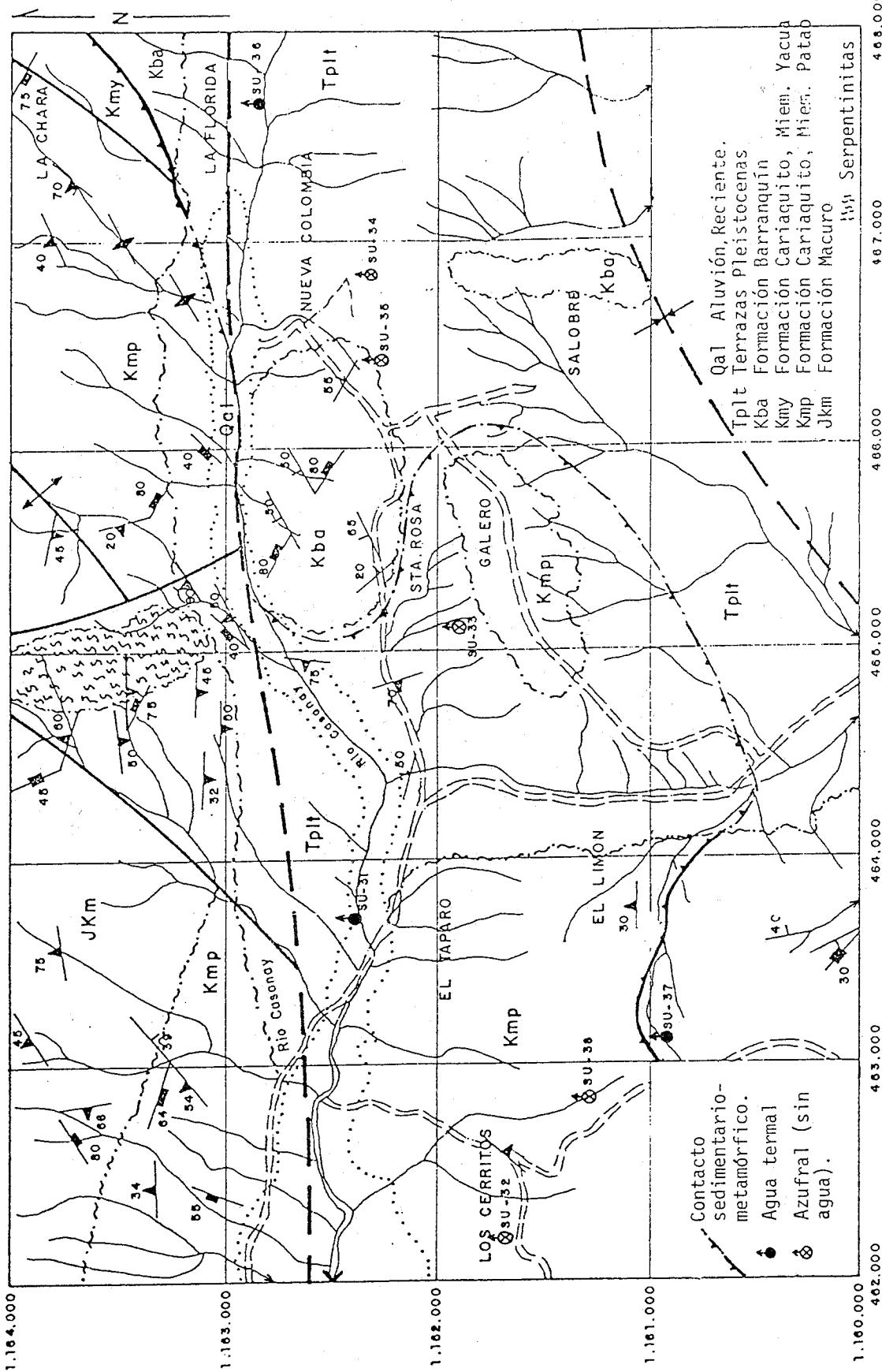


FIG. 19. MAPA GEOLOGICO - ESTRUCTURAL DEL AREA DE LA CUENCA DEL RIO CASANAY  
(Geología según DELGAU, 1976 y CANACHE, 1978; tomado de HEVIA y DI GIANNI, 1983)

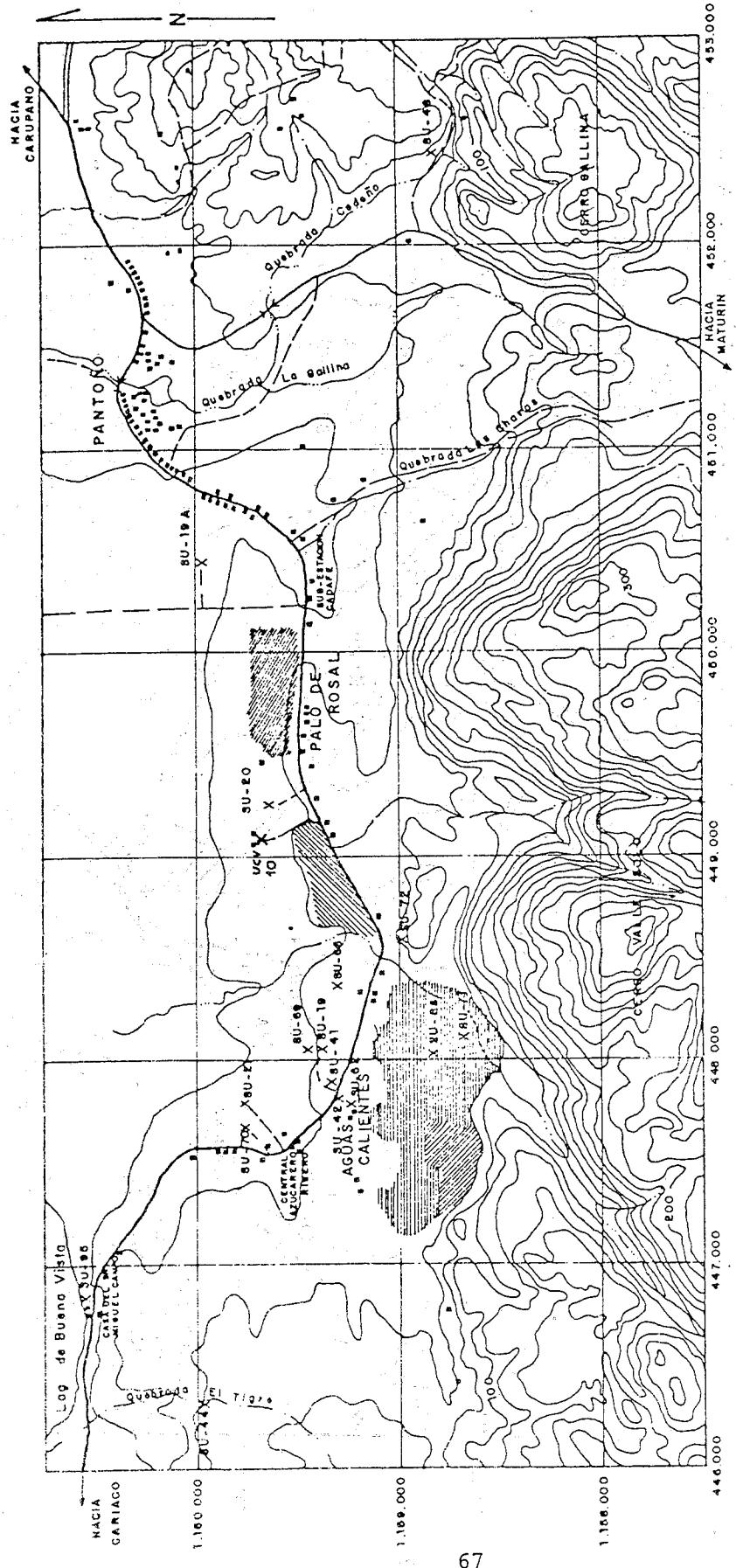


FIG. 20. MAPA DE UBICACION DE LAS MANIFESTACIONES DEL AREA DE PANTOÑO  
 (MODIFICADO DE LA HOJA 7547-TRI - NO. PANTOÑO. ESCALA 1:25,000. D.C.N.)

(Tomado de HEVIA Y DI GIANNI, 1983)

# *GOLFO DE CARRACO*

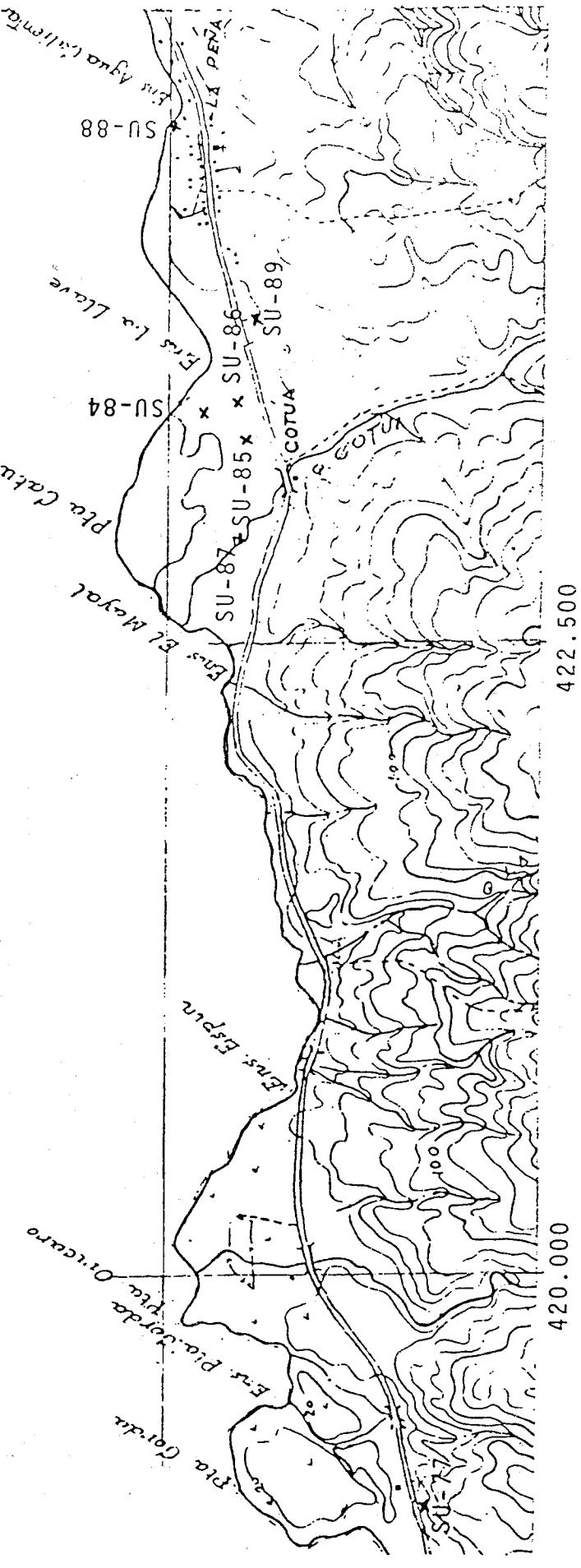


FIG. 21. Mapa de ubicación de las manifestaciones SU-88, SU-89, SU-86, SU-85, SU-84, SU-87 y SU-77 (Tomado de la Hoja 7447-II-N0, Esc. 1:25.000 D.C.N.)

### 3.2. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DEL SUR Y SURESTE

#### DEL MACIZO ORIENTAL, ESTADO MONAGAS.

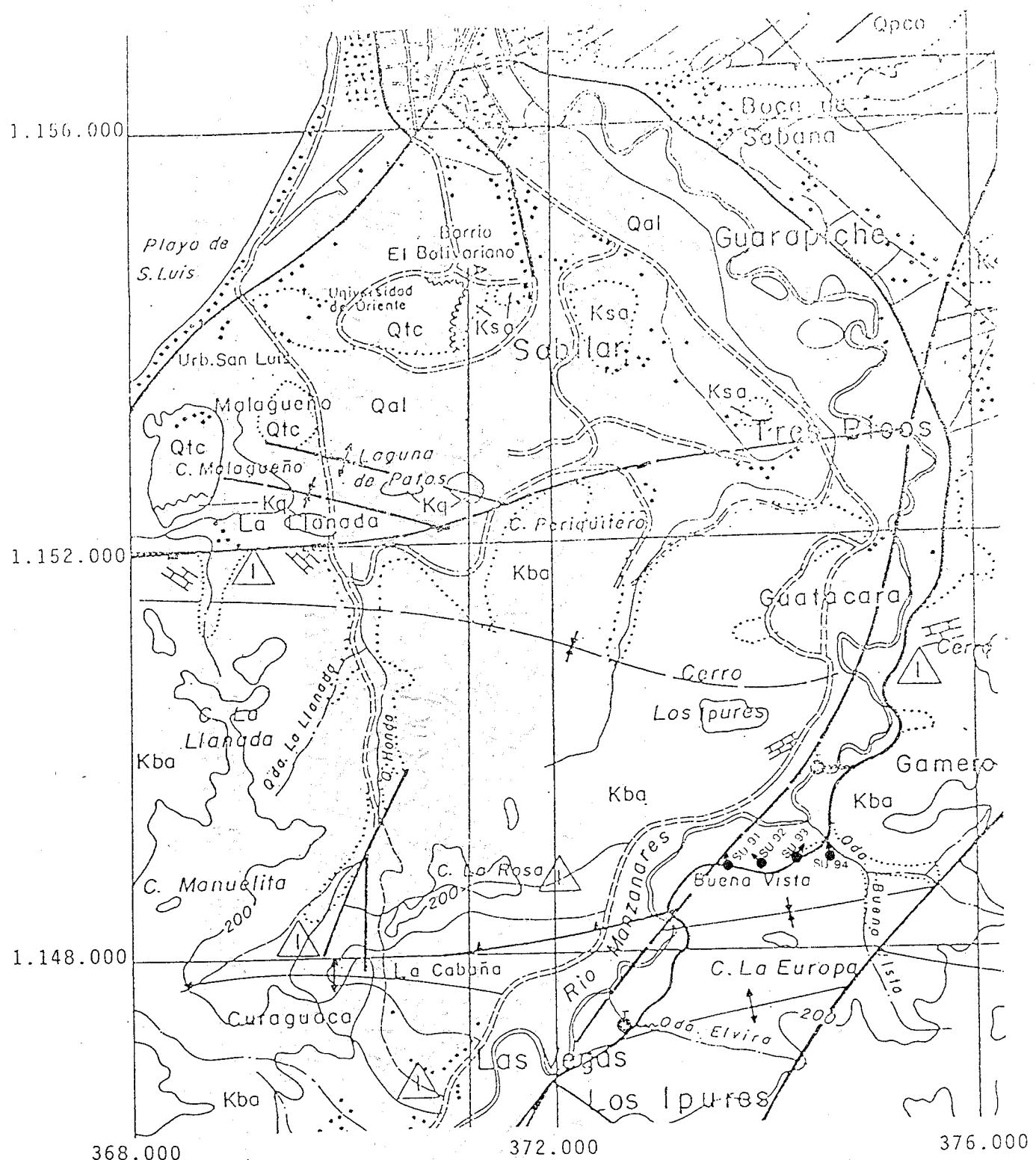


FIG. 22. Mapa geológico del Área sur de Cumaná (geología por VIVAS y GODA (1981), Mapa geológico Cumaná-Cumanacoa

Tomado de HEVIA y DI GIANNI (1983)

Las manifestaciones geotérmicas de esta región, fueron estudiadas como parte del proyecto *Inventario Geotérmico Nacional* por ZANNIN y MARIÑO (1983), y la información dada a continuación es un resumen de dicho trabajo. Las figs. 23 y 24 muestran un mapa geológico generalizado ubicando las manifestaciones de la región y una sección geológica.

#### 3.2.1. Fuentes termales y sulfurosas de Los Morros de Caripito. (Asociadas al sistema de fallas del graben del río San Juan).

Hay un total de 6 fuentes sulfurosas, 5 en el pueblo de Los Morros y una cerca de la aldea de San Miguel. Son de baja temperatura (21 a 28°C) y bajo caudal, a excepción de la fuente del *Balneario Poza Azufre*, donde las aguas son utilizadas con fines medicinales y turísticos. Las fuentes parecen estar controladas por fallas normales con rumbo NS a NW, correspondientes al flanco oeste del graben del río San Juan. Los manantiales brotan de rocas de la Formación Querecual.

#### 3.2.2. Fuentes sulfurosas del norte de Quiriquire y Azagua. (Asociadas al sistema de fallas de Azagua).

Se ubican 4 manantiales frios con ligero olor a H<sub>2</sub>S, brotan de rocas de la Formación El Cantil. También se ubicó una manifestación inactiva con depósitos de calcita de forma cónica y dimensiones de unos 6 x 8 m. Estos manantiales están dispersos a través de la zona de fallas de Azagua, con rumbo NW. Las fuentes tienen características físico-químicas muy parecidas a las de Los Morros de Caripito.

#### 3.2.3. Fuentes termales y sulfurosas del noroeste de Quiriquire. (Asociadas a la discordancia Cretáceo-Terciario).

Se estudiaron 10 fuentes en esta área, cuyo acceso es la carretera que conduce desde Quiriquire a El Pinto, todas son sulfurosas, catalogadas como tales por su olor de H<sub>2</sub>S, y por las características algas blancas propias de zonas con alto contenido de componentes de azufre. Usualmente son de bajo caudal, frías a tibias (24 - 29°C), a excepción de las fuentes de Los Baños (Mo.18) con 35,5 °C, siendo la más caliente del estado Monagas. Esta fuente tiene alto caudal de agua, brotando conjuntamente con gas inflamable. Las rocas aflorantes en los alrededores de estas fuentes, pertenecen a la Formación El Cantil, y siempre están muy cerca de la discordancia Cretáceo - Terciario (formaciones El Cantil y Quiriquire). Una fuente (la Mo.26) presentó un depósito antiguo de travertino de calcita,

con un radio de unos 20 m, no depositándose en la actualidad.

Esta misma región, es la que presenta mayor densidad de menes de petróleo y de gas inflamable de Venezuela (fig. 25).

### 3.2.4. Fuentes sulfurosas de San Antonio - Guanaguana y San Francisco. (Asociadas a la zona de fallas de San Francisco)

Aquí se estudiaron 16 manantiales fríos sulfurosos, dispersos a lo largo de la zona de fallas de San Francisco, cerca de las localidades de San Francisco, represa El Guamo, Guanaguana, Aparicio y río Aragua.

Cinco de estos manantiales se localizaron en el sitio de construcción del tapón de la represa El Guamo, hoy en día están bajo las aguas. Entre ellas, la Mo.34 presentó depósitos antiguos identificados por difracción de rayos X como calcita y estilbita (una zeolita). Hasta la fecha este mineral solo se ha identificado en esta manifestación y en otra de la región central.

En esta vasta zona, afloran rocas de las formaciones El Cantil, San Juan y Querecual, y las fuentes de aguas brotan de rocas de todas estas unidades (una en El Cantil, tres en aluvión sobre Querecual, diez en Querecual y dos en San Juan).

FIG. 24. CORTE GEOLOGICO GENERALIZADO DE LA CUENCA DE MATORIN

(MODIFICADO DE CASTRO Y ZAMORA, 1982)

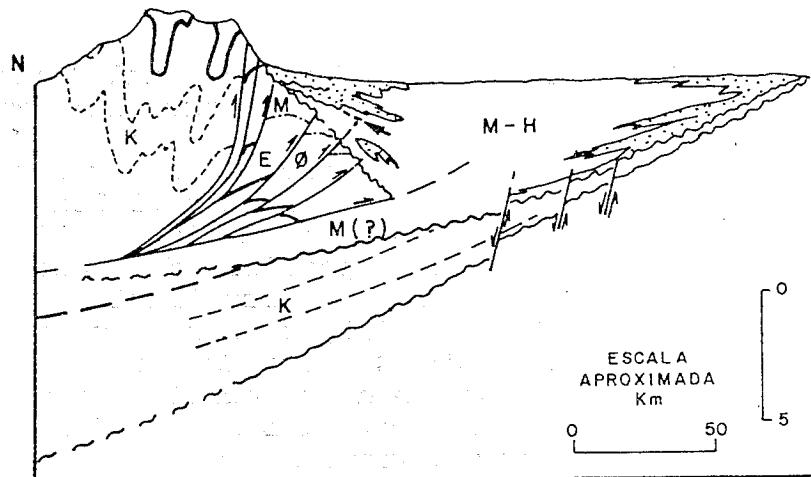
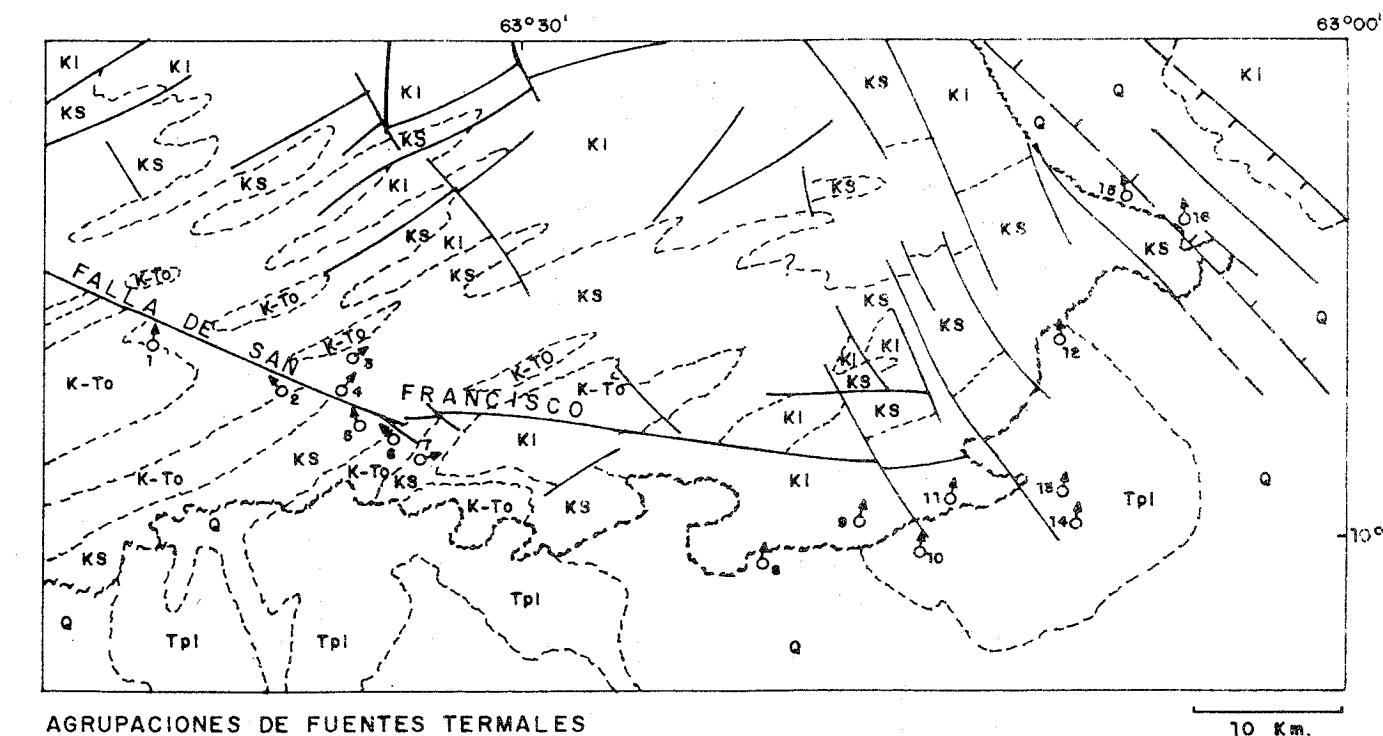


FIG. 23. MAPA GEOLOGICO GENERALIZADO DEL AREA NORTE DEL ESTADO MONAGAS

ADAPTADO DE M.E.M. 1976, HOJAS NC-20-III y IV.



#### AGRUPACIONES DE FUENTES TERMALES

NOMBRE	UBICACION	SIGLA DE LA MANIFESTACION
FALLA SAN FRANCISCO	1	MO. 30, 31
	2	MO. 32, 33, 34, 35, 36
	3	MO. 40
	4	MO. 36, 39
	5	MO. 37
	6	MO. 41, 42, 43
	7	MO. 43, 44
DISCORDANCIA K-T	8	MO. 11, 12
	9	MO. 14, 15
	10	MO. 18, 19, 25,
	11	MO. 26, 27, 28, 29
FALLAS DE AZAGUA	12	MO. 6
	13	MO. 21
	14	MO. 22
GRABEN RIO SAN JUAN	15	MO. 8
	16	MO. 1, 2, 3, 4, 5

3.3. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DEL OCCIDENTE DEL MACIZO ORIENTAL, ESTADO ANZOATEGUI.

A continuación se presenta una breve descripción geológica de las manifestaciones geotérmicas y manantiales sulfurosos de la región occidental del macizo montañoso oriental (fig. 26), ubicadas todas ellas en el estado Anzoátegui. Estas manifestaciones fueron estudiadas por J. A. Rodríguez, durante la ejecución del inventario geotérmico del estado Anzoátegui (RODRIGUEZ, 1983).

3.3.1. Fuentes sulfurosas del Río Amana, Mundo Nuevo.

A orillas del río Amana y al norte del pueblo de Mundo Nuevo, se localizan 6 manantiales fríos sulfurosos. Brotan del aluvión con afloramientos circundantes de rocas de la Formación San Antonio. Desde un punto de vista estructural, las manifestaciones brotan en un lugar casi equidistante de los ejes del anticlinal de Mundo Nuevo al norte y el sinclinal de Cerro Castillo, al sur. Fallas de extensión relativamente grande (5 a 10 Km) se localizan a unos 3 Km al sur de las manifestaciones.

3.3.2. Fuentes sulfurosas de Urica.

Son dos fuentes de bajo caudal, casi encharcadas, que brotan de rocas Plio-Pleistocenas, discordantes sobre rocas terciarias del Eoceno-Mioceno (formaciones Naricual y Los Jabillos). En el propio lugar de las manifestaciones no se han cartografiado fallas, pero a escasos 2 a 3 Km en dirección SW se encuentra la extensa falla de Urica, la cual es una de las mas importantes y activas de la región oriental de Venezuela.

3.3.3. Fuentes sulfurosas de la región de Bergantín - Querecual.

En la cuenca del río Querecual, entre los poblados de Bergantín y Querecual, se localizaron 13 manantiales de aguas frias sulfurosas, lo cual es notorio por el fuerte olor a H<sub>2</sub>S. Dentro de esta zona los manantiales se distribuyen en tres localidades, a saber: uno en el lugar de *Paso Hediondo*, cuyo nombre define al sitio, y es la localidad tipo de la Formación Querecual. Diez fuentes aparecen cerca de la localidad de *Montecristo*, y dos en la localidad de *Las Minas*. Todas ellas aparecen en los flancos sur y norte respectivamente, del anticlinal de Bergantín. Las fuentes de *Paso Hediondo* y *Montecristo*, brotan de rocas de la Formación Querecual, mientras que aquellas de *Las Minas*, brotan de aluvión pero adyacente a rocas del Grupo Guayuta (sin diferenciar).

3.3.4. Fuentes termales del sector San Diego - La Toma, cuenca del río Neverí.

En esta región se ubicaron 10 fuentes termales, en las cercanías de las localidades de *La Toma*, *Pekín*, *Carrasposo*,

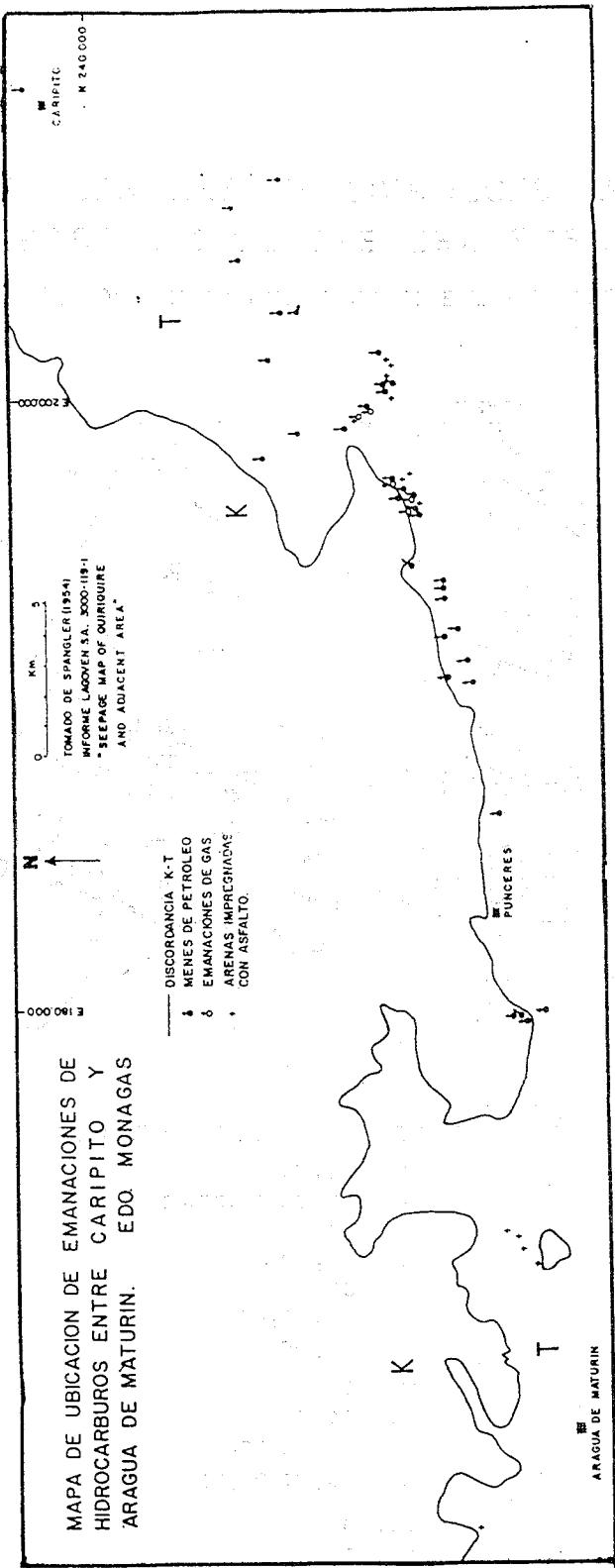


Fig. 25. Distribución de menes de petróleo y gas.  
K rocas del Cretácico, T rocas del Terciario o Cuaternario.

Tucupido y Guaicaita. Los manantiales brotan de rocas de las siguientes formaciones: La Toma, Formación Barranquín; Paso de Pekín, Formación El Cantil; Minas de Pekín, Formación Chimana; Carrasposo, Formación El Cantil; El Alambique (Carrasposo), Formación Barranquín; Tucupido, Formación Chimana; Guaicaita, Grupo Guayuta sin diferenciar. La región está intensamente plegada con numerosos anticlinales y sinclinales cuyos ejes tienen un rumbo aproximado E-W; así mismo se encuentran múltiples fallas que cruzan el área. Las fuentes de esta región son las más calientes de todo el flanco occidental del macizo oriental.

### 3.3.5. Fuentes del sector de Naricual-Aragüita, cuenca del río Neverí.

En este sector se localizaron dos fuentes, una sulfurosa y fría cerca del sitio de Angostura, al SW de Aragüita, y otra fuente caliente cerca del caserío de Aguas Calientes, a corta distancia de las minas de carbón de Naricual. La primera de ellas, brota a través de rocas lutíticas de la Formación Vidoño, mientras que la segunda, de rocas de la Formación Naricual. Ambos manantiales están en el flanco sur de un mismo anticlinal.

### 3.3.6. Fuentes termales de la zona de Pozuelos - Provisor.

Estas dos localidades ubicadas al sur de Barcelona y Puerto la Cruz, son fuentes con temperatura de 33-34 °C. En Provisor, hay dos manantiales que brotan en el cauce de la quebrada del mismo nombre, y aun cuando se trata de una zona plana con escasos afloramientos, RODRIGUEZ (1983) considera que el manantial aparentemente brota de un contacto de falla entre las formaciones Chimana y Querecual. La fuente de Pozuelos es la única utilizada en la región, embotellada bajo la denominación de Agua Mineral Pozuelos, y brota de rocas de la Formación Vidoño, suprayacente al Grupo Guayuta.

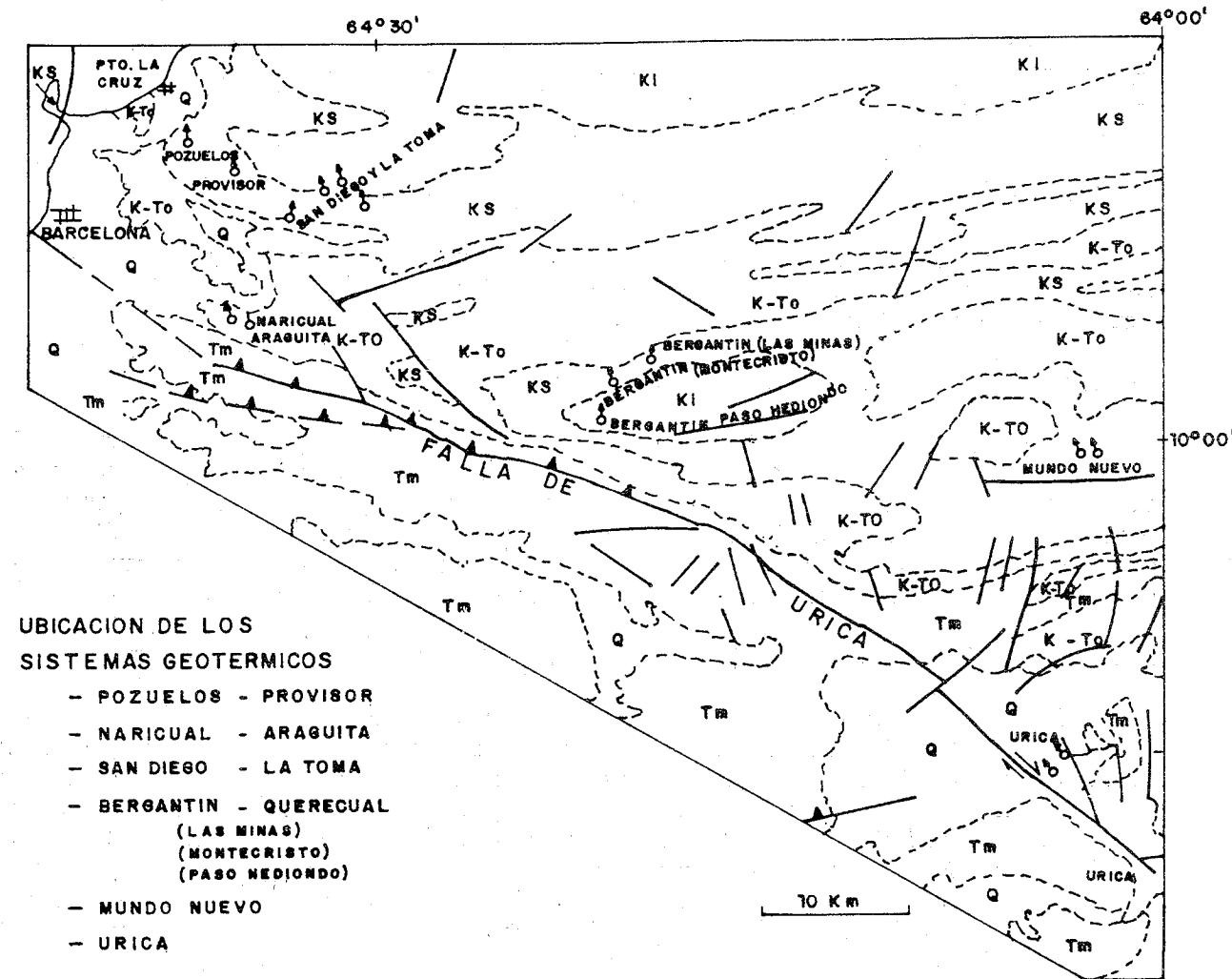
### 3.3.7. Fuentes termales de Aguas Calientes, Clarines.

Estos manantiales son muy conocidos, y han sido utilizados para baños medicinales por más de 150 años. La geología de la zona es muy compleja, como queda evidenciado en el trabajo de CAMPOS y OSUNA (1977), donde han cartografiado numerosas franjas estrechas de afloramientos de las formaciones Querecual, Vidoño, Naricual, Quebradón y Quiamare, repetidas por varias fallas de corrimiento cuyos planos buzan cerca de 20° al norte, y las trazas de dichas fallas tienen un rumbo cercano a N 40-50 E. Así mismo hay varias fallas más jóvenes, normales y con trazas de rumbo cercano a la N-S. Las fuentes precisamente se ubican cerca de la intersección de una de estas fallas normales, con una de corrimiento.

FIG. 26

## MAPA GEOLOGICO GENERALIZADO DEL FLANCO OESTE DEL MACIZO ORIENTAL

ADAPTADO DE M.E.M. 1976, HOJAS NC-20-III y IV



### 3.4. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DE LA ISLA DE MARGARITA.

En el Valle del Espíritu Santo han sido descritos tres manantiales sulfurosos por HOBBS y MORALES (1973). Según la ubicación presentada y utilizando el mapa geológico de TAYLOR (1960), se deduce que dichas fuentes deben brotar de rocas ultramáficas (serpentinitas y piroxenitas).

### 3.5. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DEL ESCUDO DE GUAYANA. (Resumen de URBANI, 1981c).

#### Manantiales de San Rafael, Ciudad Bolívar, estado Bolívar.

Fueron descritos brevemente por K. F. APPUN 1859, C. SACHS en 1879 y ANONIMO 1896, señalando que en esta localidad habían manantiales calientes y fríos. Hoy en día no existen por haberse secado.

#### Manantiales de San Isidro, estado Bolívar.

Ubicados al SE del cerro San Isidro y NO del pueblo de Santa Bárbara, se indica que son sulfurosos y que tienen una temperatura de unos 40 a 60°C.

#### Volcancito (?) de Piacoa, T.F. Delta Amacuro.

Visitado en 1859 por K.F. APPUN, quién menciona la existencia de un cerrito en cuya cima existía una especie de crater, con emanación de un humo tenue y una atmósfera con fuerte olor a azufre. No se conoce ninguna información más moderna de este sitio, y han sido infructuosas las gestiones solicitando información a las autoridades del caserío de Piacoa.

#### Fuente de Yopri-Upe, Mahekototheri (Platanal), T.F. Amazonas.

Esta ubicada al oeste de la misión de Platanal, a su vez a 107 Km al SE de La Esmeralda. Solo se sabe que hay tres pequeñas bocas, de donde brota el agua caliente (aprox. 40°C), siendo el agua cristalina, sin olores y de muy bajo caudal. Desde un punto de vista geológico, y basandonos en el mapa NA-20-5 (I.A.S.C., 1971) (fig. 27), se nota que la fuente se encuentra en la base de una pequeña serranía con alturas de unos 300 m s.n.m., constituida de rocas tipo "Roraima" de leves buzamientos al SO, formando un cuerpo alargado en dirección NO de 10 x 1,5 Km. Por la interpretación de la imagen de radar, se notan dos pequeñas fallas cercanas a la fuente. A nivel regional se observa que el río Orinoco mantiene un curso esencialmente recto por unos 75 Km, desde el raudal de Guajaribos al SE de Platanal hasta Boca de Mavaca, lo cual corresponde a un extenso lineamiento regional. La litología en la zona de las fuentes corresponde a rocas tipo "Roraima", circundadas por rocas graníticas algo gneisicas. Esta es una fuente de mucho interés, debido a su ubicación en el centro del escudo Precámbrico, y deberá estudiarse en el futuro.

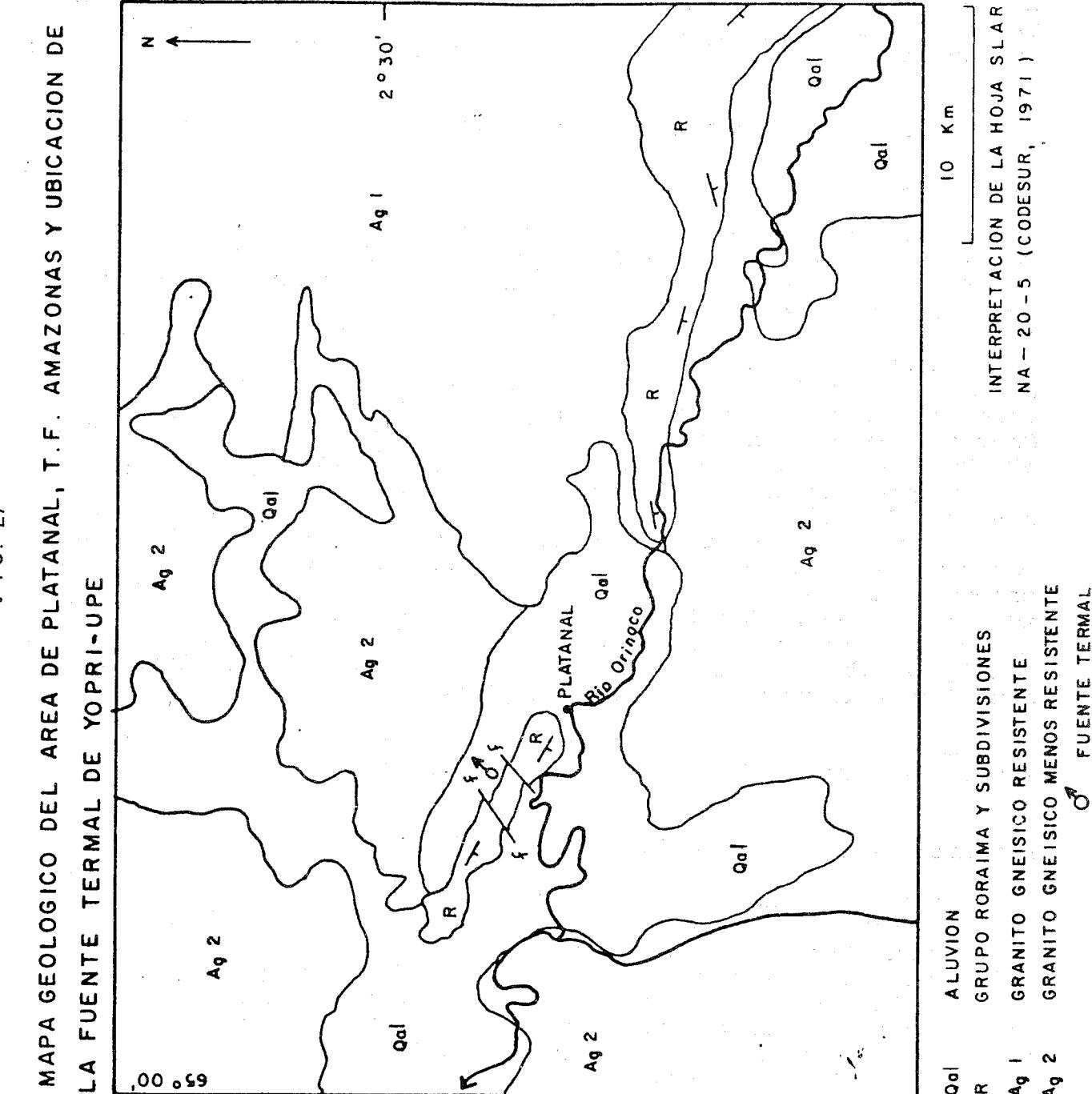


FIG. 27  
MAPA GEOLOGICO DEL AREA DE PLATANAL, T.F. AMAZONAS Y UBICACION DE LA FUENTE TERMAL DE YOPRI-UPE

### 3.6. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DE LA REGION CENTRAL

#### (CORDILLERA DE LA COSTA)

Las manifestaciones geotérmicas de la región central de Venezuela, se distribuyen siguiendo tres fajas bien definidas: la faja costera, la faja de los valles intermedios (Barlovento, Ocumare del Tuy y Aragua - Valencia) y la faja sur o piemontina. La información aquí suministrada resume fundamentalmente lo contenido en los trabajos de FERMIN (1983) y URBANI (1981a).

#### 3.6.1. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DE LA FAJA COSTERA

##### Fuentes termales de Caruao, D.F.

Ubicadas en el río Aguas Calientes cerca del pueblo de Caruao en el Litoral Central. Fue estudiada originalmente por URBANI (1969, 1981 a). Brota de una zona aluvional, rodeada de rocas de la *Unidad de esquistos verdes y gneises* (QUINTERO, 1977) en la cual predominan los esquistos cloríticos y gneises y augengneises feldespáticos. Los manantiales brotan en el cauce del río y a lo largo de unos 500 m. Los primeros manantiales se localizan a unas decenas de metros de la traza de la falla de Caruao, que es una estructura mayor dentro del área, con unos 30 Km de longitud en dirección E-W y paralela al sistema de fallas que controla la linealidad de la costa de la cordillera, a veces llamado *sistema de fallas del Caribe*, o *fallas de Morón - El Pilar*. Por brotar en el plano aluvional el agua termal está expuesta a mezcla con agua del río, hecho confirmado por las características químicas de las aguas. La temperatura máxima medida es de 70,8°C a 30 cm dentro del sedimento del río. Debido a las violentas crecidas anuales del río Aguas Calientes, la configuración de las margenes del mismo cambia frecuentemente y con ello el aspecto de los manantiales.

Las figs. 28 a 31 ilustran diversos aspectos de estas manifestaciones y de sus depósitos de halita.

##### Manantiales de Quenepe, Maiquetía, D.F.

Estos manantiales se ubican al sur de Maiquetía, en el flanco norte del macizo de El Ávila, el agua es fría y no sulfurosa. Se estudiaron ya que en las crónicas del siglo XIX se señalaban como *calientes*, siendo muy utilizadas para baños con fines medicinales. La temperatura máxima reportada es de 30°C, lo cual es superior en unos pocos grados a la temperatura usual de las aguas que bajan del Ávila (19-21°C), y quizás por esto se señalaban como *calientes*.

La geología del área fue estudiada por OSTOS (1981), y las fuentes se ubican en su *Unidad de mármoles, esquistos calcáreos y esquistos actinolíticos epidóticos*, a pocas decenas de metros de la activa falla de Macuto, al sur de la cual afloran rocas de

su *Unidad de serpentinitas*.

Cerca de La Guaira y a lo largo de la traza de la misma falla de Macuto, en el pasado existieron los manantiales fríos sulfurosos de Germán y Mapurite, hoy en día secos. Estos fueron estudiados por V. MARCANO en 1879. El de Mapurite debía su nombre al fuerte olor a H<sub>2</sub>S y cerca sitio del antiguo manantial, se observan labores mineras abandonadas, donde supuestamente se extrajo calcopirita.

##### Fuentes termales de Chichiriviche, D.F.

Están ubicadas entre 1 y 2 Km al sur del pueblo del mismo nombre (fig. 32), donde existen varios brotes naturales con una temperatura máxima de 55°C. Al sur de los mismos, en 1979 se realizó una perforación con fines geotécnicos, y después de perforar 19 m de aluvión y al encontrarse 2 m dentro del augengneis, se produjo un reventón del pozo, brotando agua a presión con 73°C, esto causó quemaduras leves a varios obreros. La perforación se abandonó y hoy en día el agua sigue brotando del tubo.

Los manantiales brotan en la zona aluvional del río Chichiriviche, pero rodeados de afloramientos de la *Unidad de augengneises feldespáticos - cuarzo - micáceos* (MENDOZA, 1978). Los manantiales se encuentran casi equidistantes de dos fallas de relativa extensión, una con rumbo N 60 W, paralela al sistema de fallas de Tacagua, y otra con rumbo N 40 E. Las rocas de la zona están muy fracturadas, lo cual facilita el ascenso de las aguas. Las fuentes están a escasos 3 Km de la costa, la cual está controlada por fallas E-W del sistema de *fallas de Morón - El Pilar*.

##### VARIACION DE LA TEMPERATURA DEL AGUA DEL RIO AGUAS CALIENTES, CARUAO, D.F.

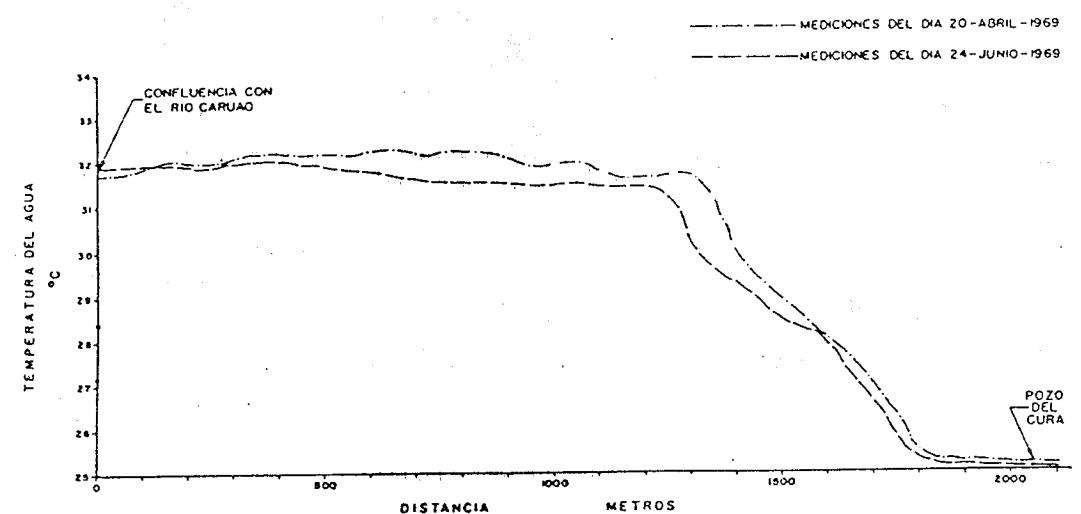
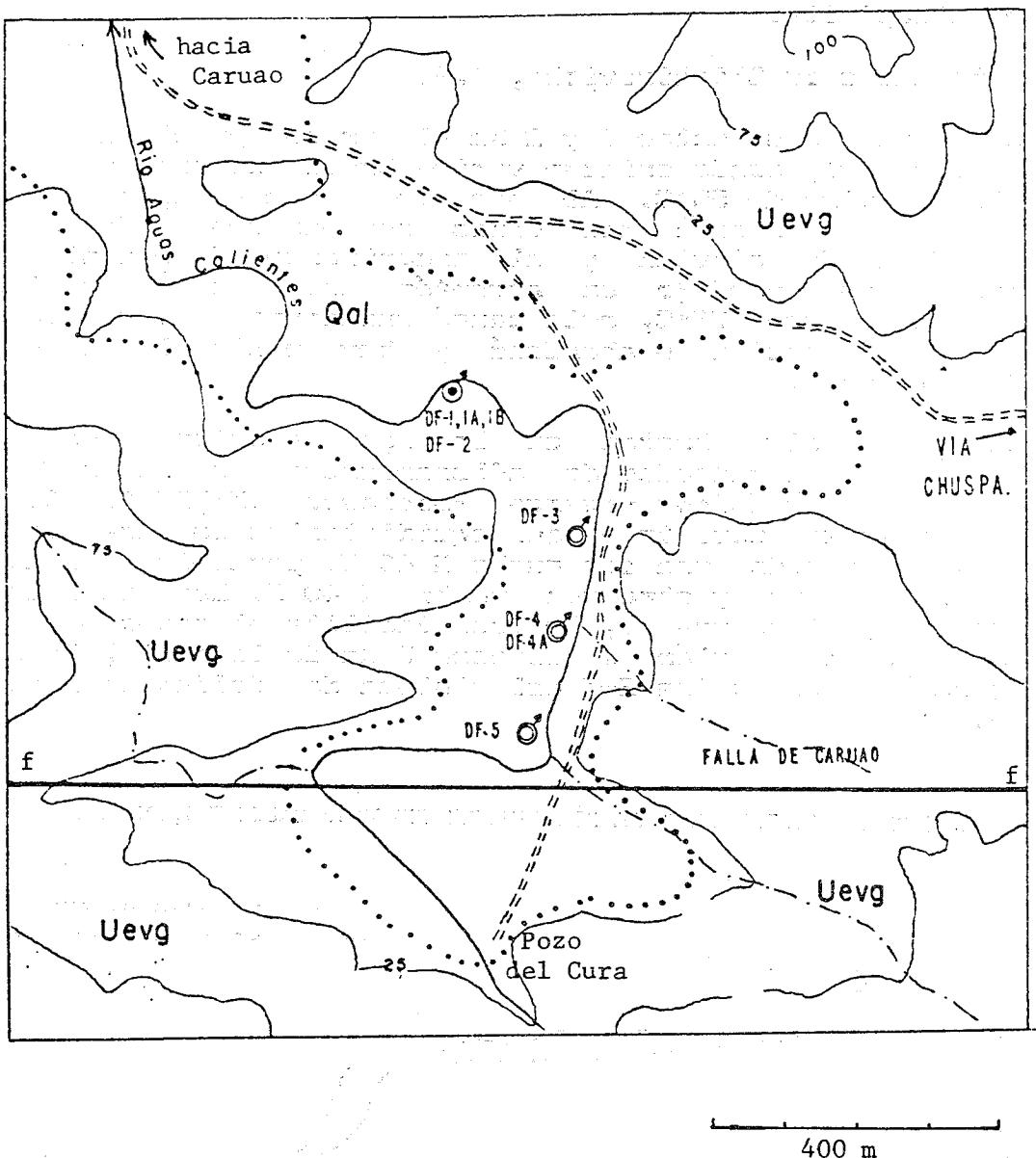


Fig. 29.

Fig. 28. MAPA GEOLOGICO Y DE UBICACION DE LAS FUENTES TERMALES DE CARUAO, D.F.

Geología según QUINTERO (1977). Fuentes termales según FERMIN (1983)



Qal Aluvión

Uevg Unidad de esquistos verdes y gneises

Fig. 30. FUENTE TERMAL DF-4. CARUAO

Croquis de la manifestación indicando la zona de depósitos de NaCl.

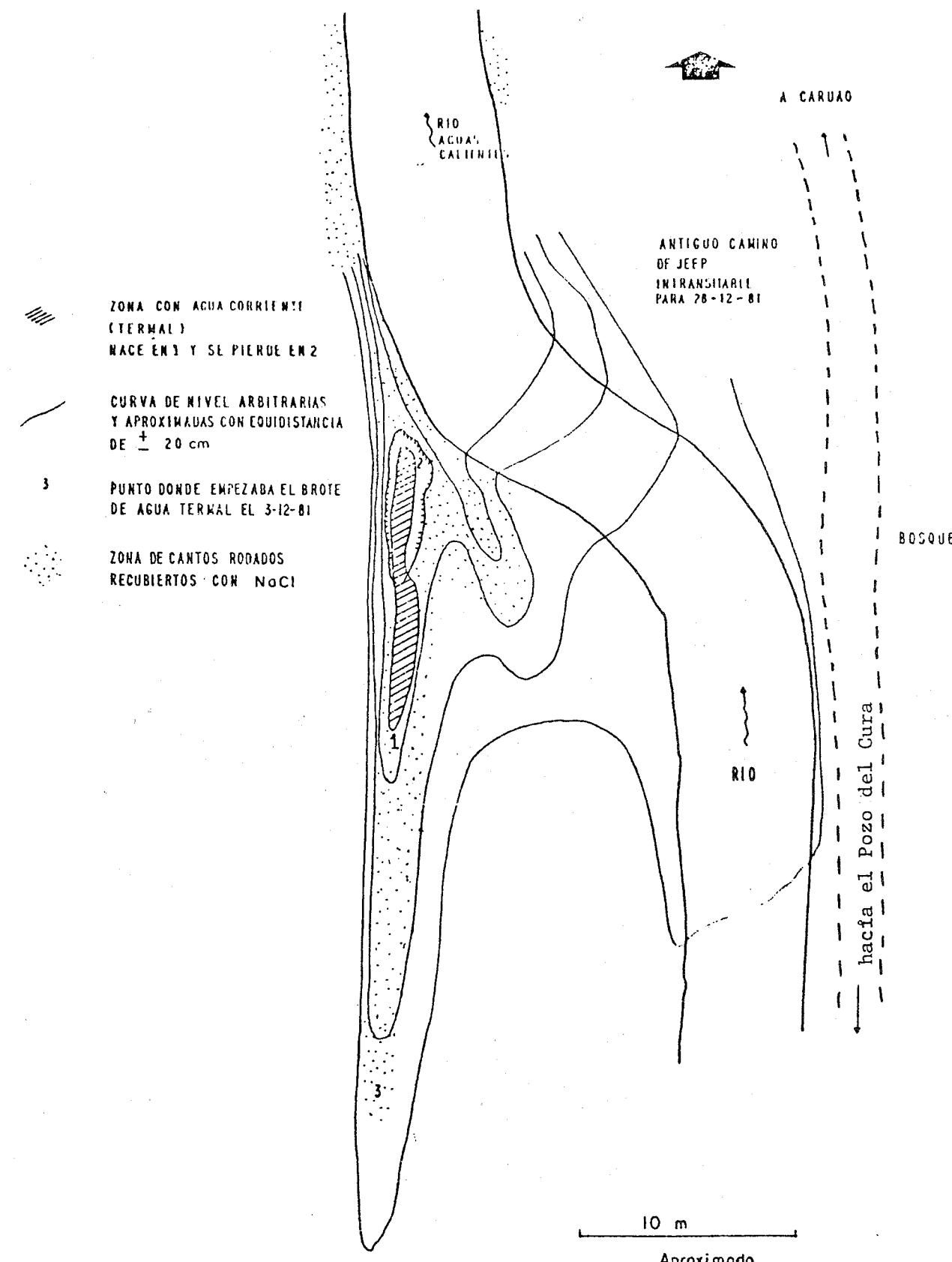
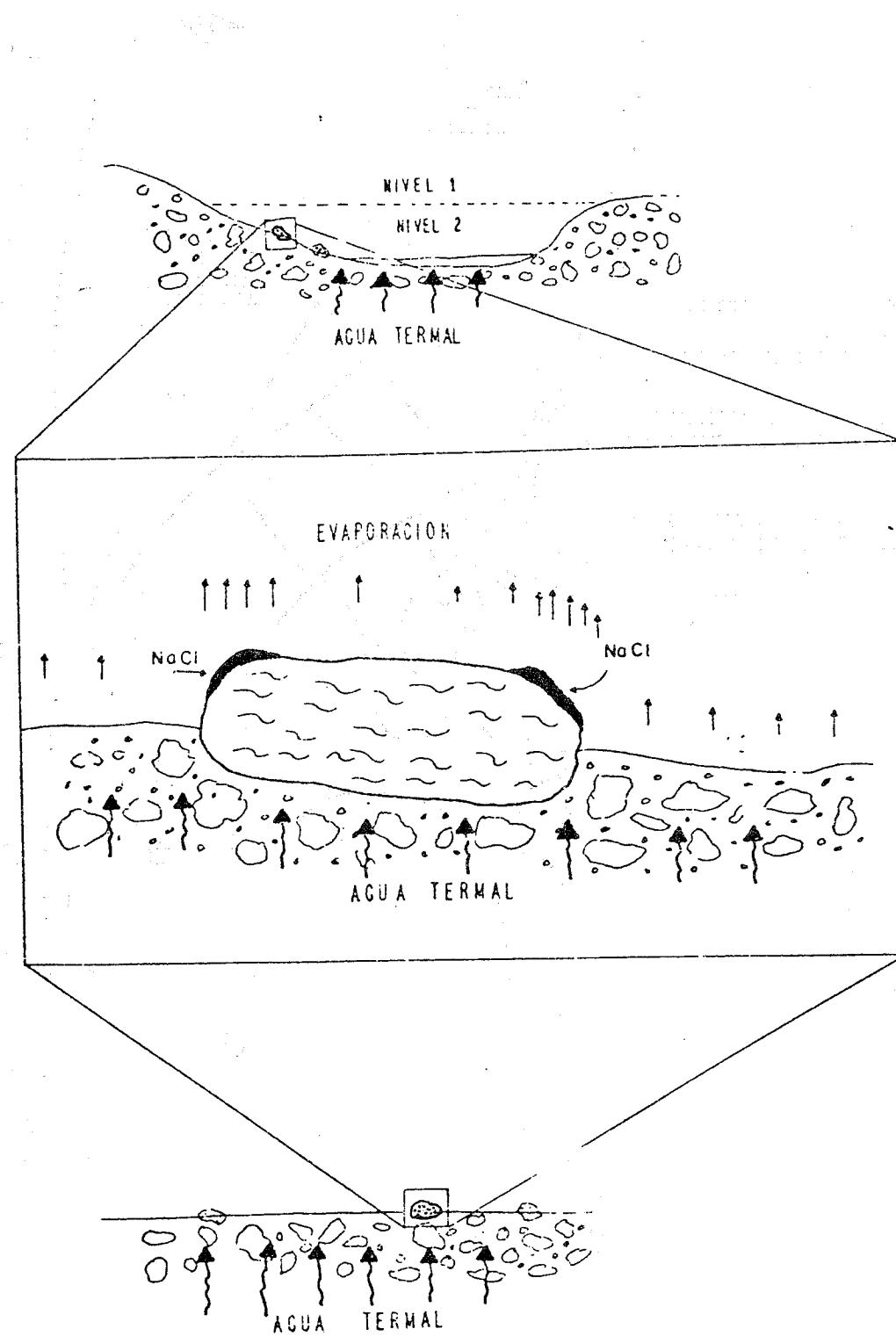
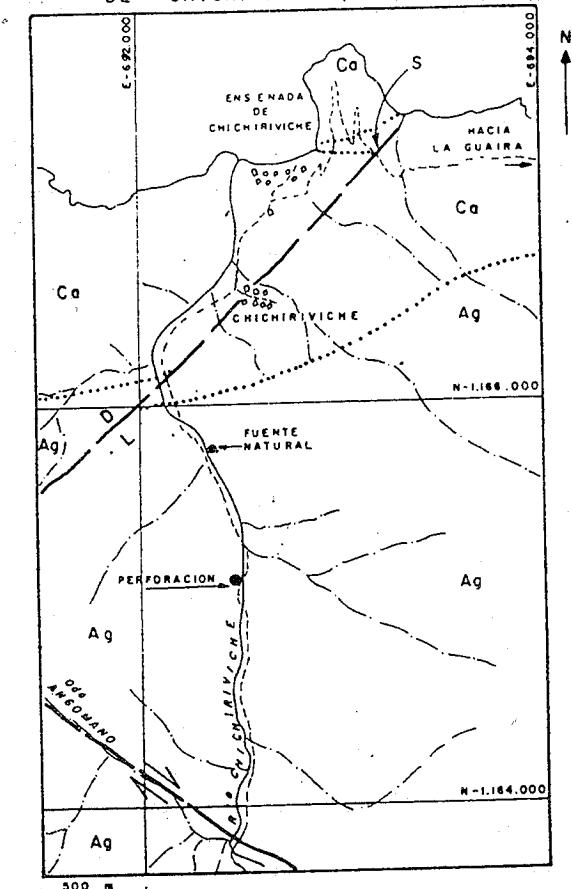


Fig. 31. Diagrama explicativo de los depósitos de NaCl en las fuentes termales de Caruao, D.F.

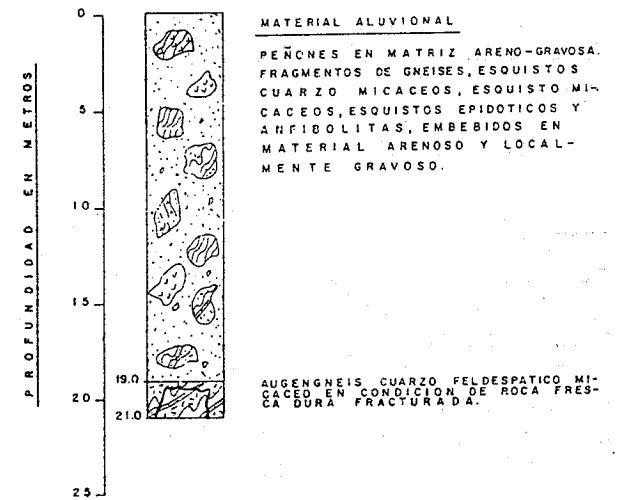
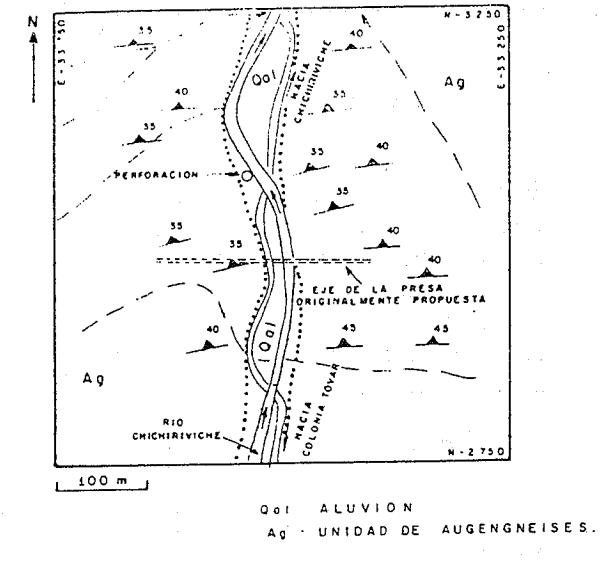


A FIG. 32

MAPA GEOLOGICO Y DE UBICACION DE LAS MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DEL AREA DE CHICHIRIVICHE, D.F.



B  
MAPA GEOLOGICO Y DE UBICACION DE LA PERFORACION DEL RIO CHICHIRIVICHE.



Columna de perforación P-14 sitio de Presa Chichiriviche.

### 3.6.2. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DE LA FAJA DE VALLES

#### INTERMEDIOS DE LA CORDILLERA DE LA COSTA.

##### **Fuentes asociadas al sistema de fallas de Las Trincheras-Mariara**

###### **Fuente termal sulfurosa de Canoabo, Ca.**

Localizada en el cauce del río del mismo nombre y conocida desde el siglo XIX (O'DALY, 1891). Hoy en día se encuentra cubierta por las aguas de la represa de Canoabo. El 13-3-1979 la visitamos, midiendo una temperatura de 34°C y una descarga de 1-1,5 l/min, tenía olor a H<sub>2</sub>S y se utilizaba localmente para baños curativos. En el lugar afloran rocas máficas metamorfizadas de la Formación Nirgua, predominando las anfibolitas granatíferas y metagabros.

###### **Fuente termal sulfurosa del río Morón, Ca.**

Su existencia fue señalada por el geólogo Luis GONZALEZ SILVA (URBANI, 1969, 1981a), pero aún no se ha podido estudiar por lo difícil de su acceso, ya que el río tiene actualmente una represa, que bloquea el paso aguas arriba, no existiendo caminos al lugar.

###### **Fuente termal de Las Trincheras, Ca.**

Ubicada en el pueblo del mismo nombre al norte de Valencia, fue estudiada por primera vez el 27 de febrero de 1800 por Alejandro de HUMBOLDT, quién la divulga extensamente en sus obras. El midió una temperatura máxima de 90,3 °C, que para esa fecha resulta ser la segunda fuente termal conocida más caliente del mundo. Señala la presencia de depósitos de CaCO<sub>3</sub>.

La geología de esta zona fue estudiada detalladamente por URBANI (1972, 1978) y GRANDE (1982). Las fuentes brotan de rocas augengnésicas, marginales a una unidad de mayor extensión, de gneises graníticos con grandes megacristales de feldespatos potásicos. A un par de centenares de metros de la fuente está el contacto entre los gneises y la *Unidad de esquistos cuarzosos y cuarcitas*. Los manantiales están controlados tectónicamente, por una zona muy fracturada producida en la intersección de dos importantes sistemas de fallas, uno con rumbo casi E-W, conocido como *falla de Las Trincheras - Mariara*, y otro con rumbo NE, controlante del lineamiento del valle de Las Marias.

La temperatura máxima medida en esta fuente ha sido 97°C, que es una de las más altas de Venezuela, junto a las del sector de Las Minas - Mundo Nuevo, al SW de El Pilar, estado Sucre con 100°C y la fumarola de Sanare en Lara, con vapores a 115°C.

Las temperaturas máximas medidas por diversos autores son las siguientes (tabla. 2):

HUMBOLDT, A.	90,3°C	1800
BOUSSINGAULT, J.B.	97	1823
KARSTEN, H.	97	1844 - 1847 ?
	91	1849 ?
WALL, G. P.	92	1859
OTERO et al.	91,5	1938
FERMIN, A.	78	1982

Para explicar estas diferencias de temperatura, se pudieran dar diferentes ideas, pero preferimos pensar que sea debido a las condiciones del manantial, ya que hoy en día no se puede alcanzar a los brotes propiamente dichos por estar todos rodeados de tanquillas o piscinas (fig. 33).

###### **Fuentes termales de Aguas Calientes, Mariara, Ca.**

Hay dos fuentes ubicadas en las afueras del barrio Aguas Calientes. La primera en el lugar conocido como *Los Baños*, en donde el Municipio ha construido una pequeña instalación con duchas y bateas para lavar ropa. La temperatura máxima medida en esta fuente es de 41,9°C en 1951 por DE BELLARD (1953), hoy en día el agua se extrae por un pozo poco profundo y se conduce a las instalaciones, por lo cual no se tiene acceso al manantial propiamente dicho. En las afueras del poblado y hacia el NE, en la quebrada El Vapor se localiza la segunda fuente que es la más caliente, con una temperatura máxima medida de 74,87°C (DE BELLARD, op cit). La diversidad de temperaturas medidas en esta fuente (42 a 75°C) se debe a que esta brota en el cauce de una pequeña quebrada, y dependiendo de la estación puede haber mayor o menor proporción de mezcla con el agua fría superficial, tanto en la superficie propiamente dicha como al atravesar el espesor aluvional.

La zona fue cartografiada geológicamente por UGUETO (1983), quien indica que la fuente caliente brota de su unidad QAREG (*Abanico y rampa de exploración grueso*), pero rodeado de rocas de la Sub-*Unidad de Augen Esquistos*, cerca de su contacto de falla con la *Unidad de Cuarcitas y esquistos cuarzo moscovíticos*. Los augen esquistos son una variedad de rocas graníticas, dentro de la *Unidad de gneises con megacristales*, o también llamada gneises porfidoblásticos. Los manantiales están casi sobre el contacto discordante entre las rocas metamórficas y los aluviones de la cuenca del lago de Valencia, y a solo 1,5 Km al norte de la zona de fallas de Las Trincheras - Mariara. Segun estudios de BUENO (1979), en los pozos de agua de las zonas adyacentes, hay algunos donde el agua brota a temperaturas cercanas o mayores a 30°C, y tienen una composición química anomala, que se revela fácilmente con la relación Ca/Mg, seguramente debido a una contaminación natural de las aguas subterráneas normales con el componente termal mas profundo.

*Fuentes termales de El Castaño, Maracay, Ar.*

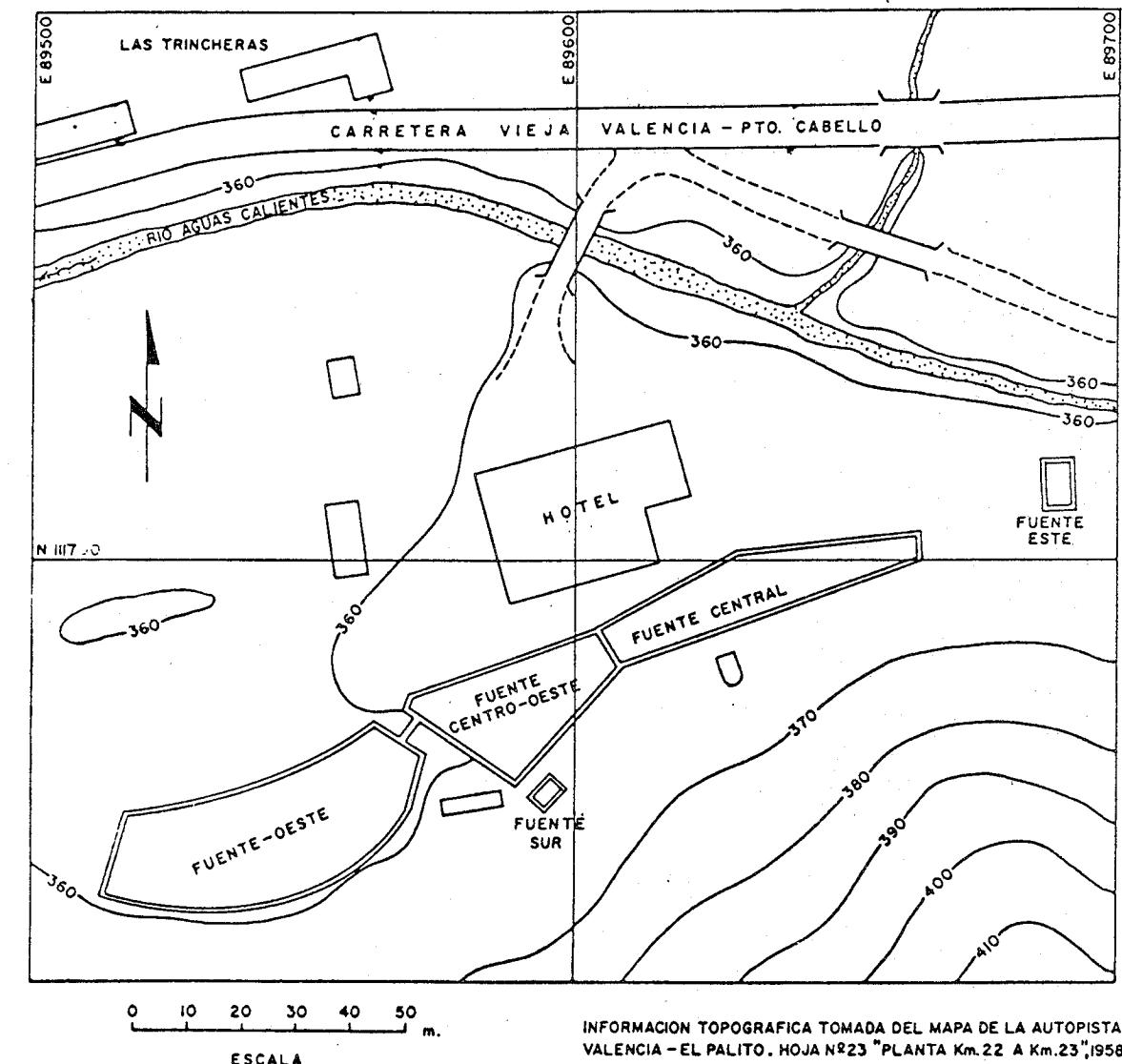
En el siglo XIX esta localidad se llamaba Onoto (BOUSSINGAULT, 1823, en URBANI, 1981g), y se encuentra en las afueras de Maracay en la vía hacia Choroni. Existen por lo menos 7 manantiales a muy poca distancia entre si, con una temperatura máxima de 42 °C. En la localidad afloran esquistos cuarzo micáceos feldespáticos (tipo Las Brisas), pero hacia el norte, a menos de 500 m se encuentra un cuerpo granítico de dimensiones de batolito, denominado Granito de Choroni, que en realidad consiste esencialmente en gneises y augengneises diversos. En los deficientes mapas geológicos existentes de la zona, no aparece cartografiada ninguna falla en el área. El agua de estos manantiales es embotellada bajo la denominación de Agua Mineral El Castaño.

*Fuente sulfurosa del río Pedregal, Turmero, Ar.*

MARCANO (1879, en URBANI y PEREZ-M, 1981) señala este manantial sulfuroso entonces conocido como La Minera. Así mismo H. STRAKA (com. oral, 1979), menciona haber visitado este manantial con olor a H<sub>2</sub>S, aparentemente utilizado en el pasado para la cura de enfermedades cutáneas. FERMIN (1983) estudia el manantial de la cantera de La Candelaria, el cual tiene una temperatura de 26°C, relativamente caliente si se compara con el agua del río adyacente que está a 18°C. Las aguas brotan de rocas asignadas a la Formación Las Mercedes, fundamentalmente esquistos calcáreos y grafíticos, pero en la cantera adyacente explotan marmoles azules, como agregados para la construcción. Al igual que para la zona de El Castaño, aquí no hay mapas geológicos confiables, y por lo tanto no aparecen cartografiadas fallas en el sector.

FIG.- 33.

**MAPA TOPOGRAFICO DEL AREA DE LAS FUENTES TERMales DE LAS TRINCHERAS**



INFORMACION TOPOGRAFICA TOMADA DEL MAPA DE LA AUTOPISTA  
VALENCIA - EL PALITO. HOJA N°23 "PLANTA Km.22 A Km.23", 1958  
M.O.P., DIRECCION DE CARRETERAS

TABLA N° 2  
ANALISIS FISICO-QUIMICOS DE AGUAS PROVENIENTES DE LAS TRINCHERAS, EDO. CARABOBO

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Fecha de captación	1879		1892	1895			12-12-38	12-12-38	24-05-61	24-05-61	18-03-63	10-06-61	20-06-61
Temperatura agua (°C)							85	91,5					24
Temperatura ambiente (°C)							27,5	27,5					
Olor							Inodora	Inodora					
Aspecto							Clara	Clara	Clara	Clara	Desagrad.	Moho	
pH							8,3	8,7	8,5	8,3	8,0	7,7	7,7
Cond. esp. (μ oh/cm 25 °C)							645		780	780	387	75	121
Color : { Aparente									3	25	2	15	
Real									3	2	0	10	
Turbiedad									3	4	20	2	3
Cloruro (Cl)	58,0	58,0	57,0	58,2	49,3	57,2	48,85	50,3	57	63	30	6	9
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	40,7	38,4	40,0	41,2	38,5	42,5	39,81	38,4	44	40	28	3	7
Sulfito (S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )							25,2						
Ársenato (AsO <sub>4</sub> )								0,06					
Nitrato (NO <sub>3</sub> )								0,28		0,1	0,1	0,3	0,8
Nitrito (NO <sub>2</sub> )								0,004		0,002	0,000	0,100	0,000
Metaborato (BO <sub>3</sub> )									5,40				
Postfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )									0,31				
Fluoruro (F)									18,00	17,5	20	20	0,20
Calcio (Ca)	9,3	9,3	11,0	7,8	5,0	2,3	5,22	6,7	5,0	6,0	2,3	3	7
Magnesio (Mg)	3,6	3,6	3,3	4,8	0,2	0,2	2,60	4,4	0	0	6	2	3
Sodio (Na)	197,8	49,0	198,0	212,3			148,0	154,8					
Litio (Li)		Tr	Tr	Tr				1,05					
Sodio (Na) + Litio (Li)									165,2				
Potasio (K)	11,6	12,1	11,6	12,7	169,0	15,0	9,60	6,6					
Sodio + Potasio (Na+K)									184	175	44	8	12
Hierro : { Disuelto									0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
(Fe)									0,30	0,00	0,00	0,40	0,08
Hierro como Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>										0,00	0,00	0,00	0,00
Manganese : { Disuelto										0,00	0,00	0,00	0,00
(Mn)										0,00	0,00	0,10	0,00
Total													
Aluminio (Al)							5,35	Tr	0,5	0,20			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,0	11,2											
Amoniaco (NH <sub>3</sub> )													
Silice (SiO <sub>2</sub> )	127,0	127,0	126,5	211,0	103,0	101,0	105,4	108,4	88	83	28	13	29
Alcalinidad : { hasta pH 8,3							6,0	5,5	32	6	6	6	6
(CaCO <sub>3</sub> )								245	242	234	228	108	20
Total										13	15	84	30
Dureza : { total										13	15	84	16
{ carbonática													30
(CaCO <sub>3</sub> ) { no carbonática													
Sólidos solubles { 105 °C							557,4	550,0					
total : { 180 °C							557,5	537,5					
Minerales disueltos calc.									533	513	223	47	87
Indice de Langelier									+0,1	0,0	0,00	-1,9	-1,3

- (1) Fuente termal: M. BOUSSINGAULT, 1879, según A. Ernst (1883, fide OTERO et al. 1989).
- (2) Fuente termal: Vicente MARCANO, tomado de OTERO et al. (op. cit.).
- (3) Fuente termal: A. P. MORA (1894, fide OTERO et al. op. cit.).
- (4) Fuente termal: J. A. O'DALY (1912, fide OTERO et al. op. cit.).
- (5) Fuente termal: Aufhäuser, Hanburgo, tomado de OTERO et al. (op. cit.).
- (6) Fuente termal: Guillermo Delgado Palacios, según tesis doctoral de Ovidio Eduardo Ostos R. Tomado de OTERO et al. (op. cit.).
- (7) Fuente termal central: OTERO et al. (op. cit.).
- (8) Fuente termal sur: OTERO et al. (op. cit.).
- (9) Fuente termal sur: (Virgen de Lourdes). Muestra captada por José M. Bentegui, analizada por Pablo E. Abreu (Laboratorio de Aguas, I.N.O.S.)
- (10) Fuente termal este: (Santa Isabel). Muestra captada por José M. Bentegui, analizada por Pablo E. Abreu (Laboratorio de Aguas, I.N.O.S.)
- (11) Río Las Trincheras, a la salida del pueblo. Muestra analizada por Pablo E. Abreu (Laboratorio de Aguas, I.N.O.S.)
- (12) Acueducto de Las Trincheras. Muestra analizada por Pablo E. Abreu (Laboratorio de Aguas, I.N.O.S.)
- (13) Qda. Vallecito (norte de Las Trincheras), toma del acueducto para El Cambur. Muestra captada por J. Clavijo, analizada por Pablo E. Abreu (Laboratorio de Aguas, I.N.O.S.).

#### Fuentes termominerales del río Mesia, Tácata, Mi.

El río Mesia se ubica al oeste del pueblo de Tácata, y en su cuenca se han ubicado un total de 11 brotes de aguas termodisociadas, pero según informes de los vecinos existen varios más. Un estudio preliminar de estas fuentes fue divulgado por RAMIREZ y URBANI (1982) y descritas en detalle por FERMIN (1983). Analizando las características de estas fuentes, las podemos clasificar en tres grupos (fig. 34), *Lamedero*, *Malangas*-*Aguas Calientes* y *Los Mijaos*. La misma figura señala las características geológicas de la zona, en donde afloran rocas del complejo ofiolítico de Loma de Hierro, en particular serpentinitas en la zona de Lamedero y Las Malangas, meta-harzburgitas en Aguas Calientes y meta-gabros en Los Mijaos.

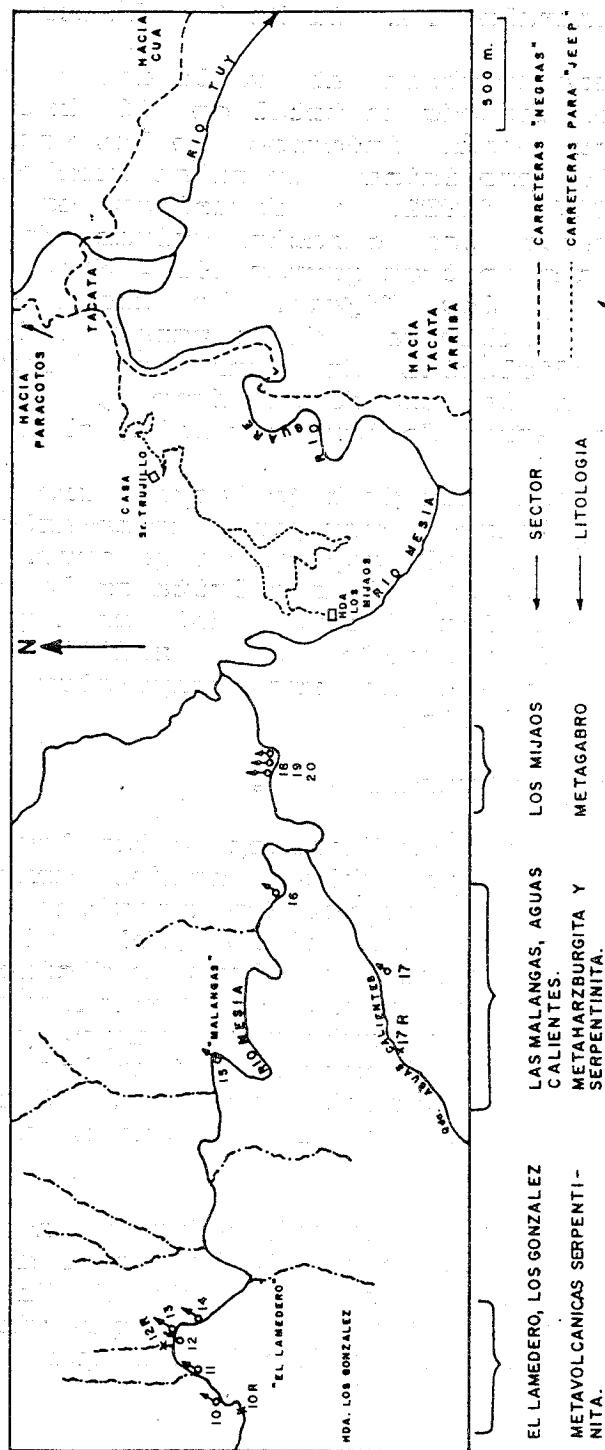
Estas fuentes son de baja temperatura (max. 32°C) y poco caudal, pero muy interesantes por sus características químicas, que se detallarán en el capítulo siguiente. Las fuentes de Los Mijaos y la Mi.16, depositan calcita en la actualidad, pero en las primeras, en las fisuras del meta-gabro se localizan depósitos de *thompsonita* (una zeolita), que para su precipitación requiere de una temperatura mayor que la que tienen las aguas actuales.

#### Fuentes del área de Guarenas, Mi.

A 3 Km al sur de Guarenas están las quebradas Gúeime y Cloris, en las cuales se ubican sendos manantiales de aguas frías, pero muy mineralizadas. Son conocidas desde 1873 cuando fueron estudiadas por DIAZ (1873 a,b), utilizadas en aquel entonces para su consumo y fines medicinales. A pesar de la corta distancia entre ambas, sus características químicas son muy discípulas lo cual se nota en el campo, ya que la de Gúeime, deposita calcita y es ferruginosa (por los depósitos rojizos y el alto fondo de los difractogramas), mientras que la de Cloris solo deposita calcita formando grandes depósitos de este mineral.

Ambos manantiales están ubicados en afloramientos de la Formación Las Mercedes, a una distancia no mayor de 200 m de la traza de una falla con rumbo N70E de 8 Km de longitud, subparalela a las del sistema de fallas que controlan la cuenca sedimentaria de Guarenas-Guatire ('pull apart basin').

FIG.34. MAPA DE UBICACION DE LAS FUENTES DE AGUAS TERMOMINERALES DEL RIO MESA, OESTE DE TACATA, ESTADO MIRANDA



Fuentes sulfurosas de la zona de Villa de Cura, Ca. y Ar.

#### Manantial de Los Leones, Belén, Ca.

Este localizado a 500 m del caserío de Los Leones, a 4 Km al SE de Belén. Es un manantial frío, que se estudió por haber tenido noticias de que cerca de Belén existía un manantial sulfuroso. Brotan de rocas de la Formación Santa Isabel, que en esta zona consiste en metatobas, metalavas y esquistos cloríticos moscovíticos.

#### Manantial Agua Hedionda, Tocorón, San Francisco de Asís, Ar

Es un manantial de agua fría con muy poco caudal y fuerte olor a H<sub>2</sub>S. Brotan de rocas semejantes a la Formación Las Mercedes, a poca distancia de una cantera abandonada de mármoles. El manantial se encuentra en el flanco sur de un valle, cuya cobertura aluvional oculta el contacto de falla entre las rocas de las formaciones Las Mercedes y Tucutunemo, esta falla tiene rumbo NW y forma parte del extenso sistema de fallas del Guarico o La Puerta.

BUENO (1979) estudia las aguas de pozos ubicados en los aluviones del norte del manantial de Tocorón, notando que las relaciones Ca/Mg son inversas de las que se pueden esperar en este tipo de áreas, lo cual sugiere una posible contaminación natural de los acuíferos, con agua sulfurosa termal.

#### Manantial de La Peñita, Ar.

Este manantial fue mencionado por primera vez por V. MARCANO en 1889 (URBANI y PEREZ-M., 1982), clasificandolo como ferruginoso. Se ubica en la hacienda del mismo nombre a 2 Km al SE de Villa de Cura, y casi sobre la traza de la falla de La Puerta o de Guárico. A ambos lados afloran rocas de la Formación El Caño. Su temperatura es de 28°C, ligeramente superior a la media anual. Es un agua con olor y sabor normal.

#### Manantial de El Banco, Ar.

Tambien mencionado por MARCANO. Se localiza a 4 Km al SE de Villa de Cura, y es un manantial en forma de hoyo de poco diámetro (40-60 cm), pero de varios metros de profundidad y con olor a H<sub>2</sub>S. Las características geológicas son iguales al anterior.

#### Fuentes sulfurosas de Colonia Mendoza, Mi.

Se localizan dos manantiales con fuerte olor a H<sub>2</sub>S y depósitos de azufre, llamados La Mina y Anguina. Son de muy poco caudal y fríos. Brotan de rocas de la Formación Paracotos (calizas verdosas y meta-limolitas feldespáticas), pero muy cerca del contacto con los aluviones de la cuenca de Santa

Luzia-Ocumare del Tuy y de rocas metavolcánicas del Grupo Villa de Cura. Debido a la deficiente cartografía geológica del lugar, no es evidente un control tectónico para estas fuentes, pero por brotar justamente en el flanco sur de la cuenca sedimentaria ya mencionada, es muy probable que cubierto por los depósitos sedimentarios recientes, existan fallas de importancia y extensión, que puedan producir zonas suficientemente fracturadas que permitan el ascenso de las aguas termo-minerales profundas. Al NW de los manantiales y cerca de Cúa se ha señalado la existencia de pozos con aguas frias muy sulfurosas (F. J. YORIS, com. oral, 1979), que podrían indicar contaminación natural subterránea de los acuíferos normales con aguas termo-minerales sulfurosas.

#### Fuentes sulfurosas de Casupo, Aragüita, Caucagua, Mi.

La quebrada Casupo se localiza a media distancia entre Aragüita y Caucagua, y en ella brotan varios manantiales de aguas muy sulfurosas (fuerte olor a H<sub>2</sub>S). La zona de los manantiales corresponde a una zona intensamente fallada, con rumbo generalizado N70E en donde afloran rocas de la Formación Paracotos, y a unos 100 m se encuentra en contacto de falla con la Formación El Cano. A escasos 500 m de las fuentes se localiza la traza de la extensa falla regional de Santa Rosa. Los vecinos señalan que el caudal aumenta considerablemente en época de lluvias, lo cual indica a una rápida infiltración de las aguas meteorológicas.

#### Fuentes termales de Juan Díaz, Barlovento, Mi.

Están ubicadas al oeste de El Guapo y al sur del pueblo de Juan Díaz. Brotan en rocas pelíticas de la Formación El Guapo, descrita por CAMPOS et al. (1980:142). Fueron estudiadas 4 fuentes con 37°C y fuerte olor a H<sub>2</sub>S, que depositan calcita. En un depósito antiguo se identificó estilbita que pudiera sugerir temperaturas mayores en el pasado.

Los manantiales están en el flanco sur de la cuenca sedimentaria de Barlovento, en el frente de montañas que en forma general corresponde a rocas del Grupo Villa de Cura (J.F. PERAZA y M. SANABRIA, T.E.G., UCV, 1984). En una pequeña zona al sur de Juan Díaz, afloran rocas sedimentarias parecidas a las de las formaciones Guárico y Garrapata, que CAMPOS et al. (1980) describe como formaciones El Guapo y Juan Díaz. En esta zona se conjugan tres sistemas de fallas, una de fallas normales con rumbo casi E-W, que controlan la linealidad del frente de montañas y constituyen el control estructural del lado sur de la cuenca sedimentaria; otro sistema con rumbo esencialmente N-S, las cuales son inversas; y un tercer tipo, de fallas de corrimiento con rumbos casi E-W, que permiten la repetición de la sección de la Formación Juan Díaz. Esto hace que la zona esté intensamente fracturada, lo cual es propicio para la presencia de manantiales termales.

#### Fuentes termales de la quebrada El Baño, Batatal, río Guapo, Mi.

Ubicadas en las cabeceras de la cuenca del río Guapo, pero debido a la represa construida en ese río, el acceso al caserío Batatal se hace a través de San José de Guaribe, Guárico. Es una fuente muy popular y conocida desde 1834, cuando Jose María Vargas analiza cualitativamente las aguas y sus depósitos minerales (VARGAS, 1834). Corresponde a una fuente caliente (hasta 57 °C), con olor a H<sub>2</sub>S y depósitos de azufre y calcita. La fuente principal brota de areniscas, mientras que otro manantial a una decena de metros del primero, brota del aluvión de la quebrada; esto hace que el agua del segundo manantial este mezclada con el agua del río, lo cual se evidencia por la composición química de ambas.

El manantial principal brota de rocas de la Formación Naricual, a menos de 200 m del contacto con la Formación Quebradón (ambas del Mioceno). La Formación Naricual en esta zona consiste en areniscas finas tipo sal y pimienta, debido al chert presente, y están intercaladas con lutitas grises y carbonosas, en cuya superficie se nota la presencia de yeso y jarosita. Esta zona pertenece a la faja volcada de la Cordillera de la Costa.

#### 3.6.3 MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DE LA FAJA SUR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA.

##### Fuentes termales de San Juan de los Morros, Gu.

Estas fuentes termales son de las más conocidas de Venezuela, y ya fueron mencionadas por HUMBOLDT en su viaje de 1800. Desde mediados del siglo XIX se construyeron instalaciones rudimentarias para atender a los bañistas, que acudían para el tratamiento de enfermedades cutáneas, entre ellas algunas modalidades de sífilis. Se localizan dos manantiales, el principal está represado en un estanque y se utiliza para baños terapéuticos, mientras que el segundo está ubicado a unos centenares de metros del primero, es de poco caudal, frío y no se utiliza. La temperatura máxima medida en esta localidad es de 34°C.

Estos manantiales brotan al pie de un morrito de caliza del Miembro Morro del Faro de la Formación Guarico (Paleoceno). De los mapas geológicos de la zona, no se puede deducir si la ubicación de la fuente está controlada por alguna falla, quizás el agua fluya a través del contacto (de falla o discordante, punto en el cual no hay acuerdo), entre la Formación Guárico y las rocas volcánicas del Grupo Villa de Cura.

##### Fuente termal de Camoruquito, Gu.

Localizada en las afueras de Sam Juan de Los Morros, cerca de la antigua alcabala de la carretera que conduce a Ortiz. Se

aguas sulfurosas (olor a H<sub>2</sub>S) y frías (26 °C). Los dos manantiales son colectados en tanquillas y utilizados para baños. Brotan de rocas del Miembro Los Cajones de la Formación Guarico, a pocas decenas de metros, de su contacto de falla (rumbo casi N-S) con las rocas volcánicas de Tiara.

#### Fuentes de Cerro Pelón, sur de San Juan de los Morros, Gu.

Se ubican un par de manantiales fríos con olor a H<sub>2</sub>S, brotando del aluvión del río Cerro Pelón. Dicho aluvión cubre una falla de varios kilómetros de extensión, que pone en contacto a rocas de las formaciones Tiara y El Caño.

#### Fuentes sulfurosas de Cantagallo, Gu.

Localizadas al sur de San Juan de los Morros. A 11 Km en la vía de Ortiz se toma el desvío hacia Cantagallo, y a 1 Km a partir de dicho desvío, se localiza el primer manantial en el fundo Rubito, el cual es frío, de poco caudal y con olor a H<sub>2</sub>S. A 4,5 Km en la misma dirección, en el sitio conocido como Agua Hedionda se localiza un segundo manantial, con las mismas características que el anterior.

#### Fuentes sulfurosas de Ortiz, Gu.

A 7 Km al este de Ortiz, se localizan dos manantiales fríos con olor a H<sub>2</sub>S, los cuales brotan de rocas de la Formación Quebradón, que son esencialmente lutitas grises azuladas y arenas mal estratificadas y poco consolidadas, hay intercalaciones carbonáceas, cerca de las cuales por efectos superficiales se localiza yeso y jarosita.

#### Manantiales de Misión Abajo, Calabozo, Gu.

En el caserío de Misión Abajo al sur de Calabozo, existen varios manantiales de aguas esencialmente frías y no sulfurosas, que en el pasado varios viajeros señalaron como calientes. SACHS (1879, 1955) las describe como: ...es sorprendente que estos baños naturales, aunque situados en inmediata vecindad unos de otros, tienen muy diferentes temperaturas, desde 25 hasta 40 °C de manera que cada cual puede escoger el que más le convenga. FERMIN (1983) mide una temperatura máxima de 28,5°C. Según el Mapa Hidrogeológico de Venezuela (M.E.M., 1973), las rocas sedimentarias poco consolidadas de la zona corresponden a la Formación Roblecito.

#### Fuentes termales de Guarumen, Gu.

Este es un interesante grupo de fuentes termales, ubicadas en las Galeras de Guarumen, con acceso a través de El Sombrero. Muy famosos a fines del siglo pasado, ya que eran muy utilizadas para baños con fines medicinales, especialmente para la cura de la sífilis. Fueron objeto de breves monografías por Vicente MARCANO (1876) y Adolfo ERNST (1883) y en la zona existen 6 manantiales, cuyos nombres y temperaturas se señalan y se

comparan a continuación:

Nombre	ERNST (1883)	12-2-1983
El Caldero	45,05 C	47 C
Los Canales	40	39,5
El Uvero	37,5	37
El Aceite	38	30,5
El Vapor	-	37
La Campera	-	37,5

Los cinco primeros manantiales (fig. 35), están alineados en dirección E-W siguiendo la traza de una capa de arenisca de la Formación Quebradón. La descarga de este grupo de manantiales es bastante grande, con 210 l/min para los dos primeros pero seguramente cercano a los 300 l/min para todo el conjunto.

El manantial de La Aguada de La Campera, está ubicado a 1 Km al oeste de los anteriores, y deposita calcita de un color muy rojizo, dándole un carácter ferruginoso que queda demostrado por el alto fondo en el difractograma.

#### Fuente sulfurosa de la Hacienda Chupadero, San Sebastián, Ar.

Esta ubicada a 5,5 Km al este de San Sebastián y brota de las rocas volcánicas de Tiara (aglomerados, metabrechas y metatobas). En el lugar hay un estanque donde se colecta el agua y esta sirve para abreviar el ganado. Los vecinos indican que esta agua es útil para la curación de enfermedades de la piel. Su temperatura es de 27,7°C, casi igual a la temperatura media anual, tiene olor a H<sub>2</sub>S y su descarga es de 9,7 l/min.

#### Fuentes sulfurosas del barrio Chupadero, San Casimiro, Ar.

Tienen características muy similares a las anteriores, por ser frías y con olor a H<sub>2</sub>S, e igualmente brotan de rocas volcánicas (tipo Tiara). Se encuentra a 500 m de una falla con rumbo NW, que pone en contacto la Unidad de metalavas con la unidad de esquistos y granofels (tipo Santa Isabel). Se usa localmente para lavado de ropa y fines medicinales.

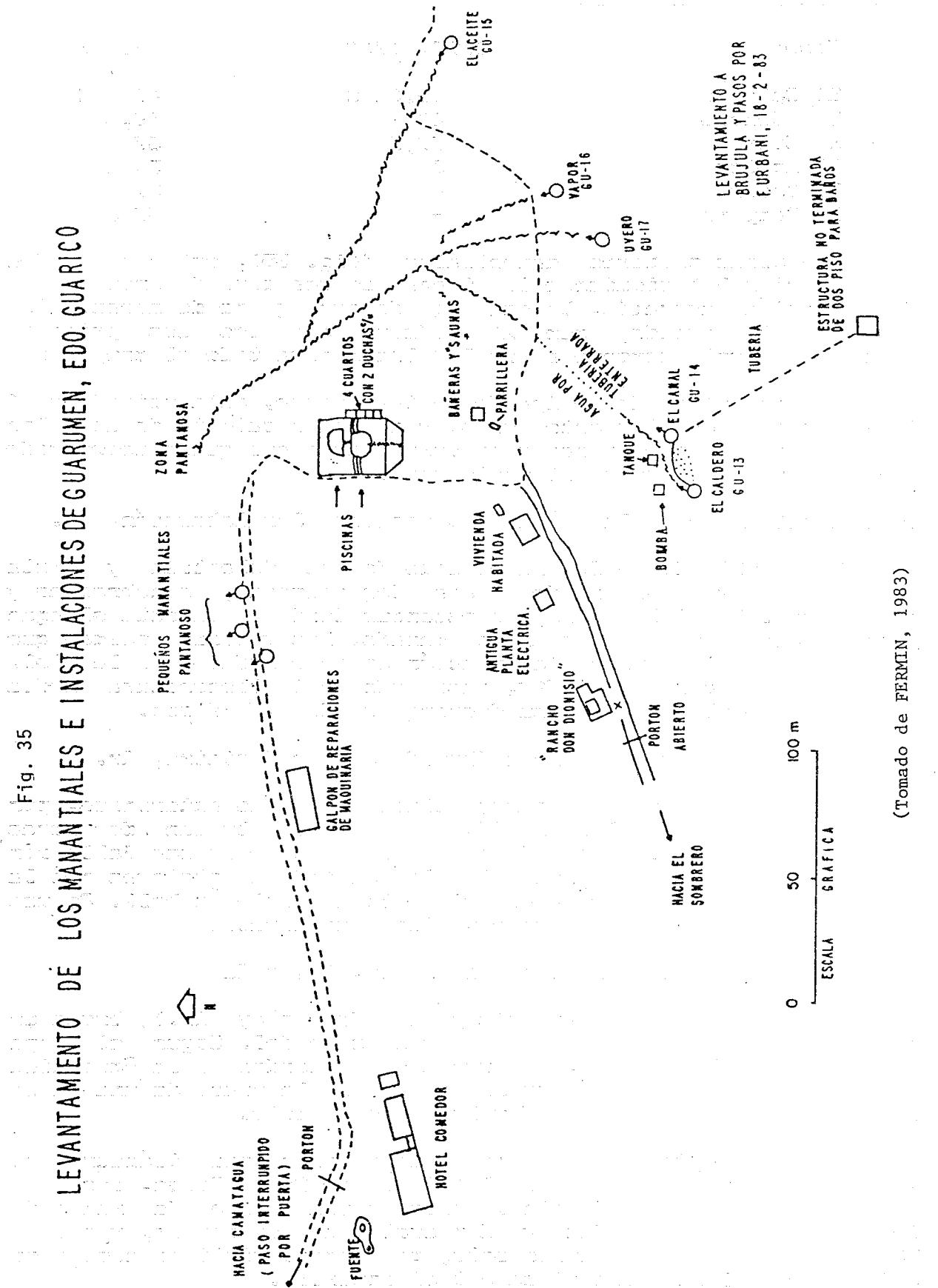
#### Fuentes sulfurosa de la zona de Tagüay, Ar. y Gu.

En las afueras del propio pueblo de Tagüay (Ar.), brota un manantial con olor a H<sub>2</sub>S de muy bajo caudal. Según el mapa geológico de BECK (1977), las rocas corresponden a la Formación Quebradón y su ubicación corresponde con la traza de una falla de corrimiento con rumbo E-W y buzamineto norte.

La segunda fuente sulfurosa se ubica a unos kilómetros al este de la primera, en la localidad de Cerro Pelón, quebrada Agua Hedionda, estado Guárico. Brota en una franja de rocas de las formaciones Quebradón y Naricual sin diferenciar, y a unos 200 m de una falla de corrimiento, con características similares a las ya señaladas para el manantial anterior.

Fig. 35

### LEVANTAMIENTO DE LOS MANANTIALES E INSTALACIONES DE GUARUMEN, EDO. GUARICO



97

### 3.7. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DE LA REGION CENTRO OCCIDENTAL.

#### 3.7.1. MANIFESTACIONES DEL ESTADO YARACUY

De este estado solo se conocen referencias muy escuetas de la existencia de fuentes, aparentemente termales y quizás sulfurosas en las localidades de Aguas Calientes, al SE de Chivacoa, y en una localidad conocida como El Palmar, cercana a Yaritagua. Estas manifestaciones no están confirmadas, pero es de esperar que se encuentren fuentes en esta región debido a su ubicación en la llamada Cuenca de Yaracuy (SCHUBERT, 1983), quién la describe como una cuenca de empuje lateral ("pull-apart basin"), relacionada con la zona de conexión entre los sistemas de fallas de Bocono y el sistema de fallas de la costa norte de la Cordillera de la Costa (zona de fallas de Morón).

#### 3.7.2. FUENTES TERMALES Y SULFUROSAS DEL ESTADO FALCON

##### Fuentes de Los Pilancones 1, La Sábila.

Por su tamaño y belleza esta es la fuente termal más espectacular que hemos observado en Venezuela. Se ubica al oeste del caserío de San Juan de la Vega, al SO de Pecaya, en un pequeño valle rodeado de colinas, en un ambiente casi desértico, con muy escasa vegetación. El agua brota de afloramientos de arenisca gris y de grano fino, del Miembro San Juan de la Vega de la Formación Pecaya. Según los mapas geológicos elaborados por la empresas petroleras, no es evidente ningún control tectónico para estas manifestaciones, ya que no aparecen fallas de importancia en la zona.

La fig. 36 presenta un gráfico de esta manifestación (Fa.1), donde se nota la existencia de un gran cono de travertino calcítico de unos 150 x 80 m, sobre el cual hay dos altos, que denominamos *cono este* y *cono oeste*.

En el *cono este* hay 16 huecos en el travertino, de donde brota o se observa agua en su fondo. Estos huecos o pozos tienen tamaños variables de unos 5 cm hasta 3 m de diámetro, y profundidades generalmente mayores de 2 m. En el pozo mayor de esta sección, el agua (muestra Fa.1a) tiene una coloración verde pálido algo amarillento, debido a la presencia en suspensión, y depositándose en las orillas y fondo del pozo del mineral *alunita*. A 5 m de este pozo, se ubica otro con el agua casi cristalina, el cual presenta la mayor temperatura medida con 38,5 °C.

En el *cono oeste* se ubicaron un total de 59 huecos de tamaño desigual, haciéndose aquí más notoria la diferencia en el aspecto de las aguas de los diversos huecos, algunas son de coloración verdosa, otras turbia, blanquesina o grisácea, a veces perfectamente cristalina. Los huecos también presentan una

gran variedad de algas con colores y aspecto filamentoso. En la fig. 36 se presenta la temperatura medida en cada hueco (tomada con un termómetro de 0,1 °C de apreciación), donde se nota una fuerte variación aun en distancias muy cortas, y en menos de 2 m hay variaciones de hasta 3 y 4 °C. La misma variedad existe con el olor y sabor de las aguas. La fig. 37 presenta un histograma con la distribución de las 75 mediciones de temperaturas tomadas.

En lo referente a depósitos minerales es obvia la presencia de calcita que constituye el mineral dominante del gran cono travertínico, notándose que este mineral no se deposita en la actualidad. Hoy en día solo se forman los minerales *alunita* [(K,Na)Al<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (OH)<sub>6</sub>] y *trona* [Na<sub>3</sub>H(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O], el primero en los pozos con aguas de coloración verdosa y el segundo, en aquellos con aguas más bien cristalinas y no turbias. Las aguas que brotan en la actualidad parecen corroer el cono travertínico, lo cual junto a la no precipitación de calcita, parece indicar que esta manifestación, se encuentra en una etapa distinta en cuanto a la composición química de sus aguas.

Este último puede ser aun más evidente al examinar el registro histórico de mediciones de temperaturas en la zona, a saber: A. CODAZZI en 1837 visita la zona y describe las manifestaciones, señalando temperaturas de hasta 56,6 °C (CODAZZI, 1841 en URBANI, 1982d:126). En 1853 Arístides ROJAS también visita este lugar y dice que *La temperatura de estos pozos encontrada por nosotros no discrepa en mucho de la hallada por Codazzi* (ROJAS, 1873, 1981:32). Esto indica una disminución de 18,1 °C en 120 años, aunque aparte de esto, las descripciones de estos autores son en todo similares a lo observado por nosotros en septiembre de 1983, y ROJAS al referirse al cono de travertino, dice que *esta compuesta de un carbonato calcáreo o toba calcárea sin vegetación y muy sólida en algunas partes, pero alterada en aquellas que están directamente bajo la influencia ácida de las aguas que se derraman*, lo cual concuerda con lo dicho en referencia al cambio de la composición química de las aguas en el tiempo.

#### Fuente de Los Pilancones 2, La Sábila.

Esta fuente (Fa.2) se ubica a 1 Km al NO de la anterior, y quizás sea el mismo tercer montículo llamado *Yugurí* referido por ROJAS (1873, 1981:32). La fig. 37 presenta un croquis de esta manifestación, la cual consiste en un cono de travertino de calcita de 50 x 60 m, con un solo manantial a 39 °C.

#### Fuente de Sorofoy, San Juan de la Vega.

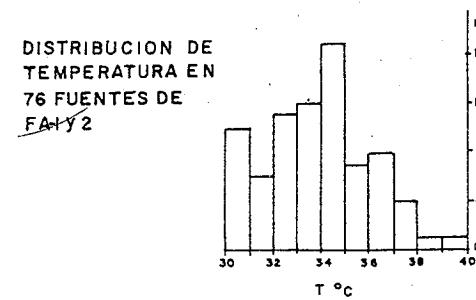
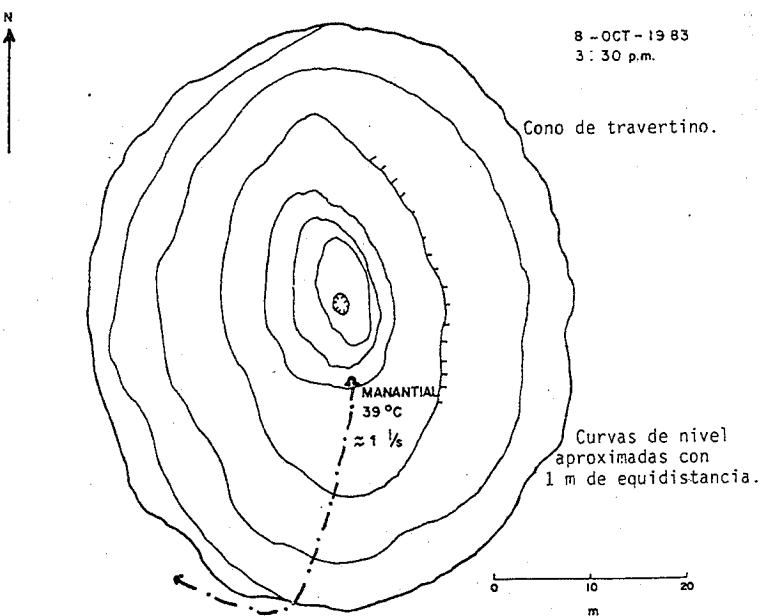
Ubicada a 1 Km al norte del caserío de San Juan de Vega, y al igual que en las dos manifestaciones anteriores, la característica más resaltante es la presencia de dos conos de travertino, uno de ellos inactivo, y otro por donde brota el agua junto con gran cantidad de gas CO<sub>2</sub> (Fa.3). El sabor del agua es ligeramente salobre y parecido a las bebidas

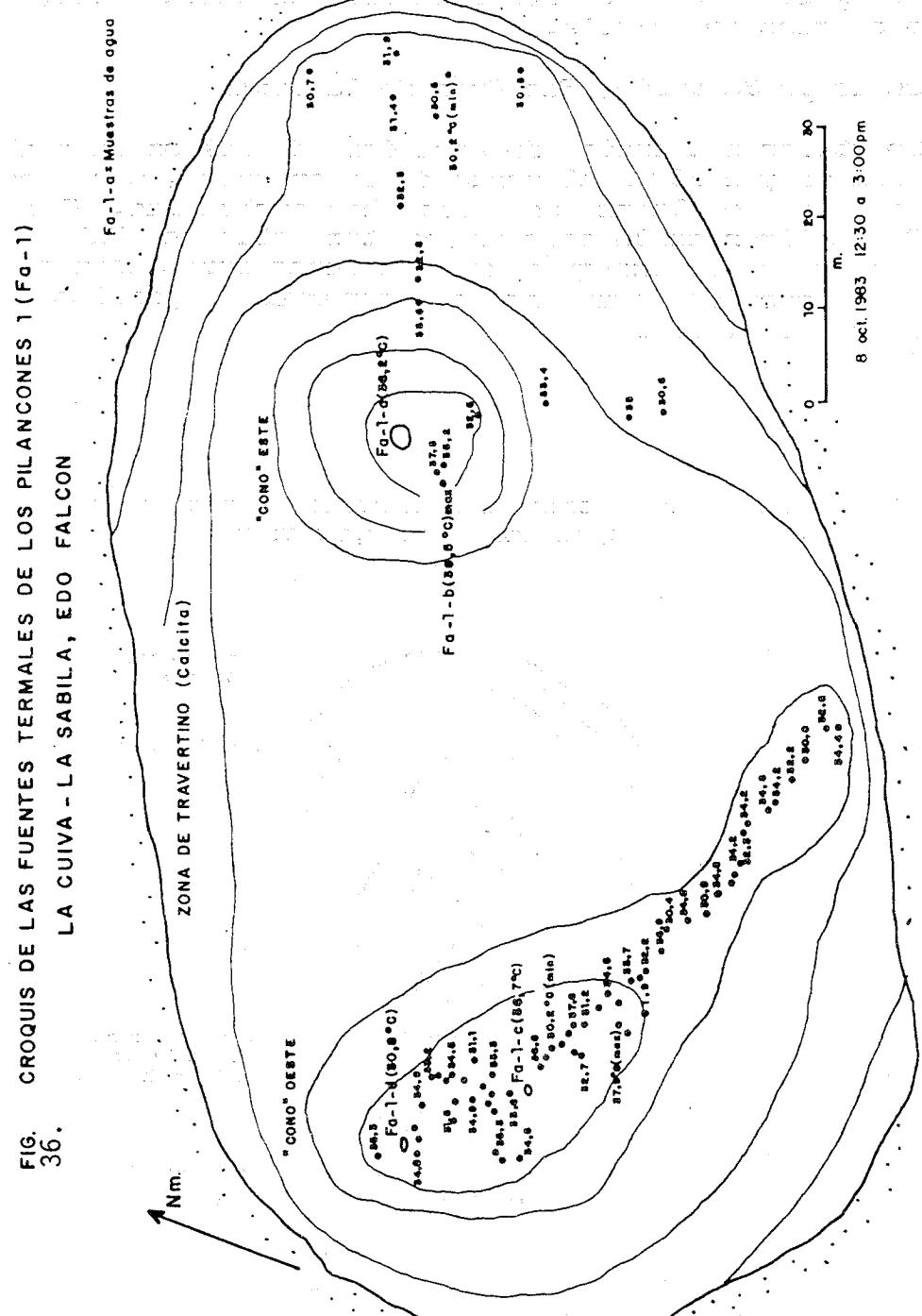
gasificadas. Esta fuente es utilizada por los lugareños para tomar baños, pero sin atribuirle propiedades medicinales. La fuente brota en la cresta de un anticlinal, donde la litología predominante son las areniscas del Miembro San Juan de la Vega (fig. 38). El agua de este manantial deposita *trona*, y también corroer el cono de calcita.

#### Fuentes de La Salineta, San Juan de la Vega.

Se ubicaron 6 brotes de agua fría (Fa.4) en la quebrada del mismo nombre y a 600 m al norte de la anterior, pero los vecinos dicen que a lo largo del río hay muchos más. El agua tiene 34,6 °C, es ligeramente salobre y con olor a H<sub>2</sub>S. Aunque las características físico-químicas de estas aguas sean similares a la fuente anterior, aquí no se observan depósitos (conos) de travertino (fig. 38).

FIG. 37. CROQUIS DE LA FUENTE TERMAL DE LOS PILANCONES 2  
(Fa. 2), LA CUIVA-LA SABILA, EDO. FALCON





## Fuentes termales de la estructura de La Vela, este de Coro.

### Fuente de Guadalupe.

Este manantial (Fa.5) es conocido y utilizado desde hace mas de un siglo, cuando fuera estudiado por Vicente MARCANO en 1876 (URBANI y PEREZ M., 1982). Se encuentra en el flanco norte del domo de La Vela de Coro a unos 300 m al sur de la falla de corrimiento que bordéa la costa en ese sector. La geología de la zona aparece descrita en GONZALEZ DE JUANA (1971) y basandonos en su mapa geológico, se desprende que las limolitas de donde brota el agua, corresponden al Miembro Muaco de la Formación Caujarao del Mioceno superior. El agua se colecta en un tubo y hace varias décadas existian unas rudimentarias instalaciones para los bañistas, que acudian con fines médicos (fundamentalmente para el tratamiento de enfermedades de las vías digestivas). Interesa señalar que las características químicas y la temperatura de estas aguas indicadas en 1876, son esencialmente iguales a las determinadas en la actualidad.

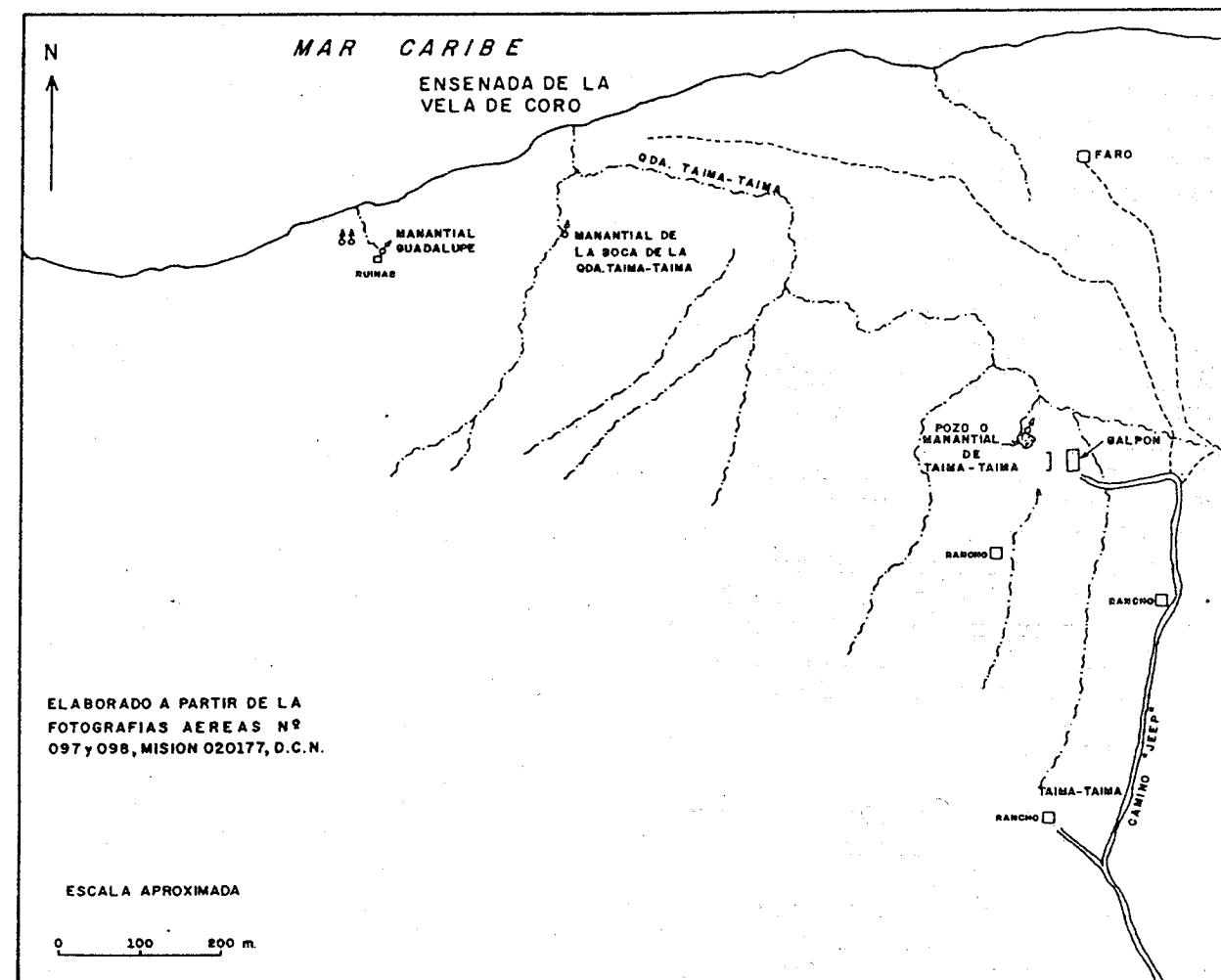
### Fuente de Carrizal.

Esta ubicada en el caserío del mismo nombre, al este de La Vela de Coro, allí existe un manantial natural (Fa.6), hoy día de muy escaso caudal; y un pozo activado con un molino de viento que extrae el agua para llevarla a un tanque, donde los vecinos hacen uso de ella para baños y lavado de ropa. Ya no beben de esta agua por ser algo salobre, prefiriendo la que traen en camiones desde Guaibacoa. La temperatura del agua es de 30,4 °C, apenas 2 °C por encima de la temperatura media anual del area. El agua brota en una zona plana aluvional, pero correspondiendo a la zona de afloramientos del Miembro Muaco de la Formación Caujarao del Mioceno superior.

### Fuentes de Taima-Taima.

En la localidad de Taima-Taima se localizan dos manantiales (Fa.7), con características físico-químicas similares a las del manantial de Guadalupe (Fa.5). El principal se presenta como una pequeña laguna, que constituye el nacimiento de la quebrada Taima-Taima. Esta es la misma localidad conocida por el yacimiento de vertebrados fósiles, descritos por ROYO y GOMEZ (1954), y parece factible que los animales hayan muerto atrapados, en los lodazales de este manantial de aguas muy mineralizadas. El segundo manantial se presenta cerca de la boca de la quebrada Taima-Taima, y es de iguales características que el anterior pero de menor caudal. Estos manantiales y los de Guadalupe, tienen la particularidad de que en el riachuelo formado, crece una gramínea filamentosa característica, que no hemos visto en ninguna otra localidad. Desde un punto de vista geológico, estos manantiales tambien brotan de rocas del Miembro Muaco de la Formación Caujarao del Mioceno superior. La fig. 39 muestra un croquis de ubicación de los manantiales de Taima-Taima y Guadalupe.

FIG. 39. CROQUIS DE UBICACION DE LOS MANANTIALES DE GUADALUPE Y TAIMA - TAIMA EDO. FALCON



Fuentes de San Antonio, Siburúa y Meachiche, SE de Coro.

Este variado grupo de fuentes se ubican al SE del embalse de El Isiro en el piedemonte NE de la Sierra de San Luís, son termales y fríos y con o sin olor a H<sub>2</sub>S. Estos manantiales han sido estudiados por GONZALEZ DE JUANA (1948), MIRANDA y GALAVIS (1949) y BECK (1951) para fines de aprovechamiento de las aguas, en los acueductos de la Península de Paraguana. BECK (1951) en su mapa geológico de la Serranía de San Luís, presenta con mucho detalle la ubicación de los manantiales del área, notándose que brotan en o muy cerca de las trazas de diversas fallas con rumbo N-S, y así mismo en o muy cerca del contacto entre las formaciones San Luís y Agua Clara. Las figs. 40 y 41 presentan mapas de ubicación de los manantiales y pozos cercanos.

*San Antonio.*

Bajo esta denominación se conocen dos manantiales termales y *sulfurosos* (olor a H<sub>2</sub>S). El manantial principal (Fa.8A) brota con una temperatura de 38 °C, y se ubica en la traza de la falla de San Antonio, en rocas de la Formación Agua Clara. El segundo manantial (Fa.8B) se localiza a 2.5 Km al norte del anterior.

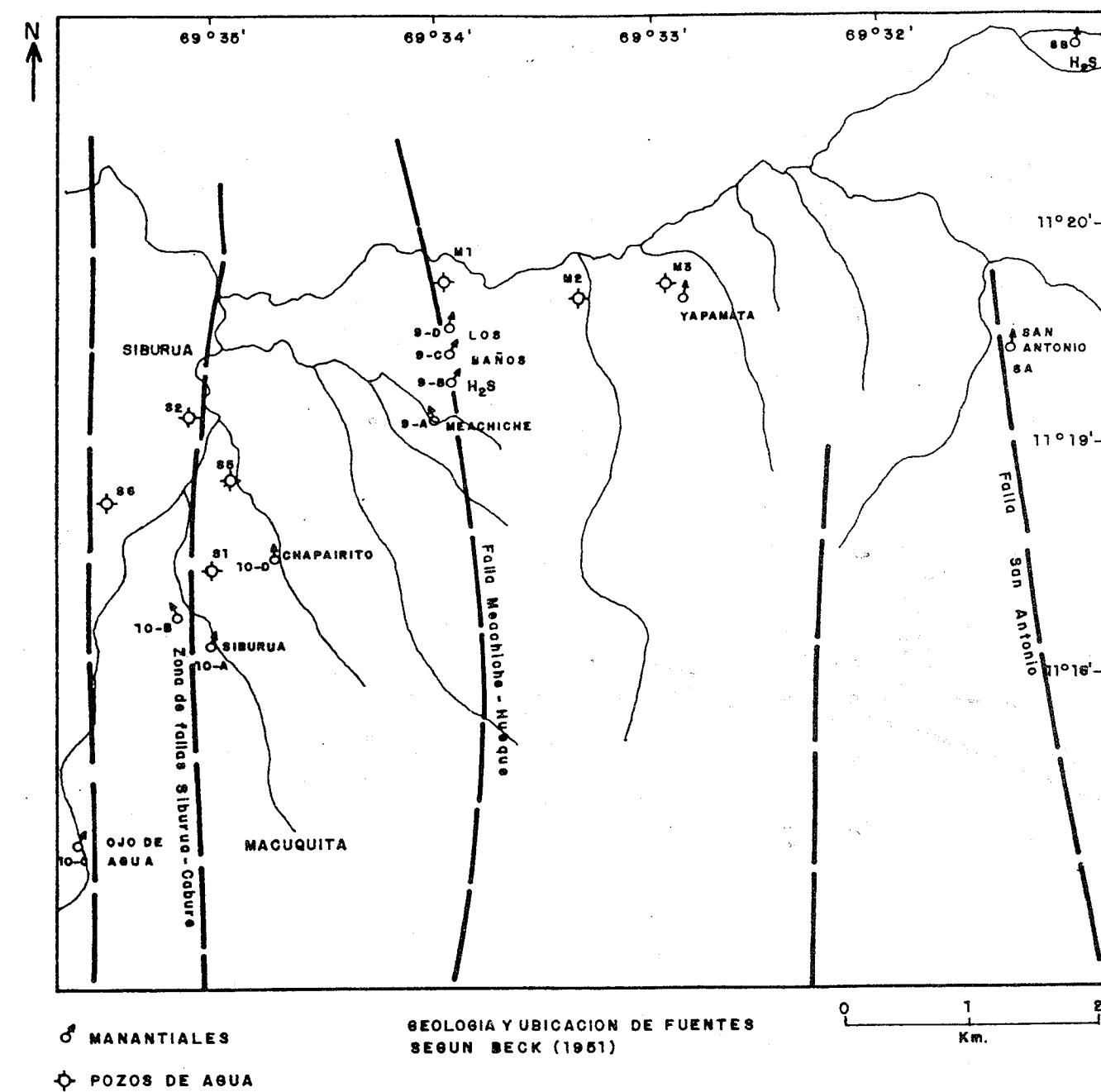
### **Headache.**

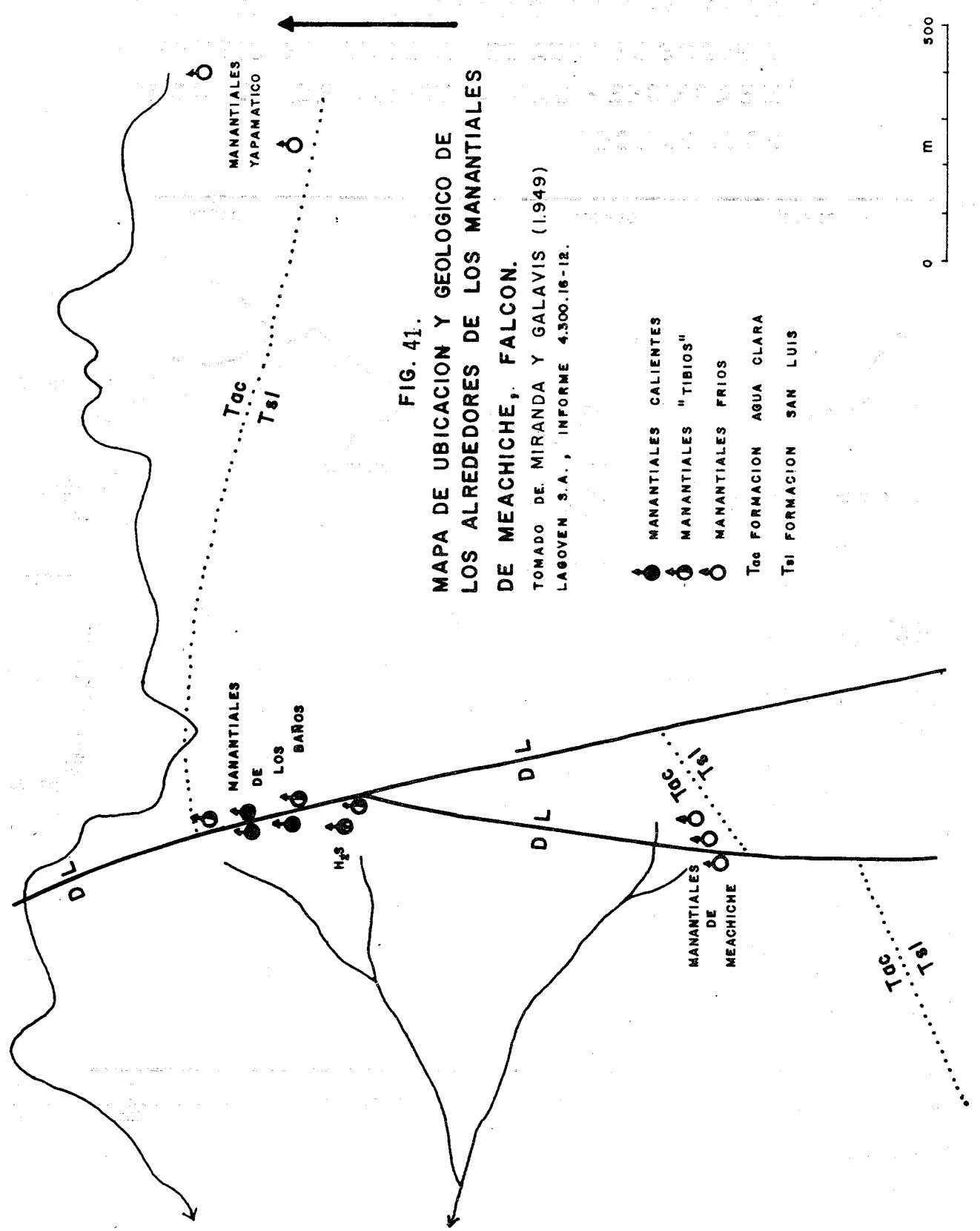
En este sector se conocen 5 manantiales (fig. 40), a saber: el de Meachiche propiamente dicho (Fa. 9A) con una temperatura de 21,9 °C, varios manantiales conocidos Los Baños (Fa. 9B,C y D) con olor a H<sub>2</sub>S, y el manantial de Yapamita (Fa. 9E) a 2,5 Km al este. Los cuatro primeros estar alineados en dirección norte-sur, segun la traza de la falla de Meachiche - Hueque y brotan de rocas arcillosas de la Formación Agua Clara. En las inmediaciones se han perforado al menos tres pozos de agua (M1, M2 y M3, con temperaturas de 33, 40, y 43 °C) (fig. 40), que fueron estudiados por GASCOYNE (1978) como parte de su estudio de hidrología de la Sierra de San Luis. Según el mapa de MIRANDA y GALAVIS (1949) (fig. 41), ademas de los citados manantiales hay otros 6 de menor caudal.

## Siburúa.

En este sector aparecen cuatro manantiales, a saber: el principal de Siburúa (Fa.10A) con una temperatura de 21 ° C y gran caudal (variable de 1500 a 270.480 l/min segun GONZALEZ DE JUANA, 1948), otro mas pequeño (Fa.10B) con la misma denominación a 350 m al NO del anterior, un tercero a 2 Km al SO conocido como Ojo de Agua (Fa.10C), y el cuarto, a 900 m al NE de Siburúa conocido como Chapairito (Fa.10D). Las aguas de estos manantiales son frías, y brotan casi en el contacto entre las formaciones San Luis y Agua Clara, sobre la zona de fallas de Cábure-Siburúa. Los manantiales del grupo de Siburúa son típicas resurgencias cársicas, sin relacionarse con fenómenos de geotermalismo (GASCOYNE, 1979 y GONZALEZ DE JUANA 1948), pero se incluyen aquí con fines comparativos.

FIG. 40. MAPA DE UBICACION DE LOS MANANTIALES  
Y POZOS DE AGUA DE LA ZONA DE SIBURU A-  
MEACHICHE - SAN ANTONIO, S.E. DE CORO,  
EDO. FALCON





#### Fuente termal de Tapatapa, SE de Churuguara.

Ubicada cerca del caserío de Tapatapa (Fa.11) a 16 Km al NE, del cruce sobre el río Tocuyo de la carretera Coro-Churuguara. Se conoce de esta manifestación y de las tres siguientes, por su ubicación en el mapa geológico C5D (LAGOVEN S.A.). Brota en afloramientos de calizas de la Formación Capadare del Miocene.

#### Fuente sulfurosa de La Taza, Santa Cruz de Bucaral.

Ubicada en el fondo de una gran depresión cárstica o valle de La Taza (Fa.12). Brota de rocas de la Formación Capadare (Miocene).

#### Fuente de Agua Negra.

Emerge en el contacto discordante entre las formaciones Capadare (Miocene) y Casupal (Mio-Oligoceno), ademas esta equidistante (unos 500 m) de los ejes de un anticlinal y un sinclinal. Es sulfurosa por el olor a H<sub>2</sub>S (Fa.13).

#### Fuente sulfurosa de Las Trincheras.

Esta fuente (Fa.14) brota en el contacto discordante entre las formaciones Capadare (Miocene) y Trujillo (Eocene-Paleoceno).

#### Fuente sulfurosa de Las Llanaditas, SE de Maparari.

Ubicada (Fa.15) a 200 m del contacto discordante entre un pequeño cuerpo de rocas ígneas basálticas y la Formación Casupal del Mio-Oligoceno.

#### Fuentes del área Agua Clara.

##### Fuente de Agua Clara.

El brote se ubica al este de este pueblo, cerca del sitio conocido como Los Manantiales (Fa.16), se ha citado como caliente y sulfuroso. Según el mapa geológico presentado por MEDINA (1979) las rocas aflorantes corresponden a la Formación Agua Clara, del Miocene inferior.

##### Fuente de Los Baños, Agua Clara.

Estos manantiales hoy en día casi secos, están ubicados al sur de Agua Clara, cerca de la intersección de los ríos Pedregal y Mitare (Fa.17). En este lugar aflora la Formación Agua Clara (MEDINA, 1979). Esta localidad parece ser la señalada por ROJAS (1872, 1981:31), de la cual dice que son muy cálidas, ... y que los indígenas de aquellos lugares cuecen los huevos.

#### Fuente de El Ojito, Agua Clara.

En el mapa geológico de LAGOVEN S.A., se señala como sulfurosa (Fa.18), y localizada a unos 3 Km al norte de Agua Clara. Según MEDINA (1979) en esta zona aflora la Formación Cerro Pelado.

#### Fuentes sulfurosas frías del SE de Urumaco.

##### Fuente de la quebrada Paloma.

En esta quebrada se localiza un pequeño manantial (Fa.19) con olor y sabor a H<sub>2</sub>S, el caudal es muy pequeño (cerca de 0,5 l/min). Brota de las grietas de una capa de arenisca calcárea de unos 5 m de espesor, rodeada de lutitas negras, carbonosas, sobre las cuales es frecuente observar jarosita, y en las zonas donde hay capas de carbón, se notan eflorescencias de melanterita. Las rocas de este lugar corresponden a la Formación Cerro Pelado. Para la ubicación vease la fig. 42. Hoy en día este manantial se ha represado con un pequeño muro, para ser utilizado como abrevadero de los chivos.

##### Fuentes de la qda. El Puerco, Urumaco.

Esta quebrada lleva precisamente este nombre debido al olor a H<sub>2</sub>S, que se nota cerca de sus manantiales (Fa.20). Para febrero de 1981 se localizaron dos manantiales, de escaso caudal y fríos. El agua brota de rocas de la Formación Cerro Pelado, semejantes a las de la anterior manifestación. Los habitantes de esta zona, insistieron en apuntar que hace unos 10 años, el agua salía caliente, y al introducir en un orificio un trozo de madera blanda (como el Maguey), esta salía encendida. De ser cierta esta información, se pudiera sugerir que el fenómeno se originó por la combustión subterránea de capas de carbón. Esta idea cobra fuerza por la observación en la zona de capas de lignito aparentemente calcinadas por combustión (LENA, 1979).

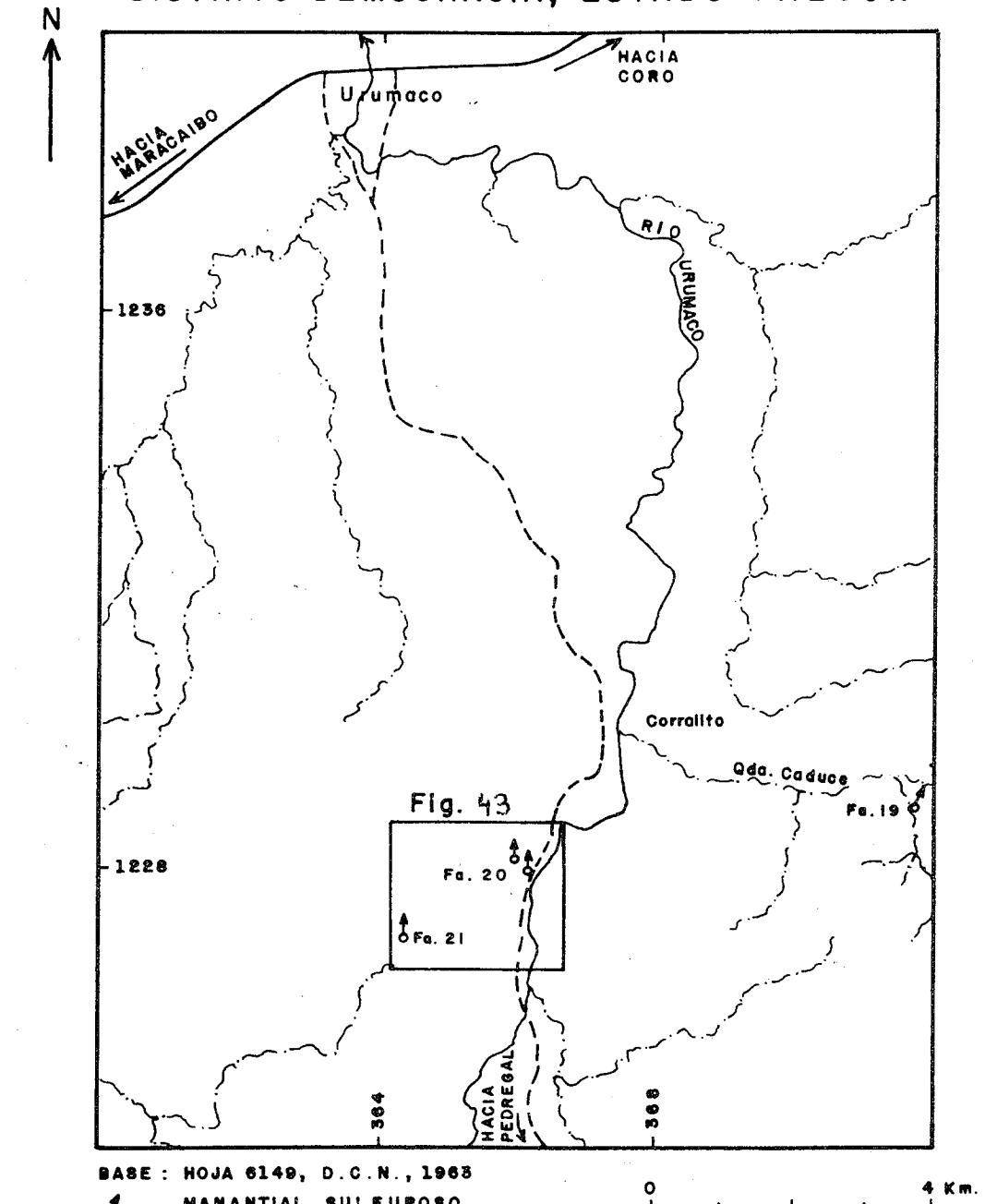
##### Fuente de la qda. Pequeña.

Este manantial (Fa.21) tiene las mismas características que el anterior, y se ubica a 4 Km al SW.

##### Fuentes de La Cañada.

La ubicación de estos manantiales (Fa.22) aparece en el mapa de geología de superficie de LAGOVEN S.A., con indicación de ser sulfurosos. En la zona afloran rocas de la Formación Querales, del Mioceno.

FIG. 42 MAPA DE UBICACION DE LAS FUENTES DE AGUAS SULFUROSAS UBICADAS AL SUROESTE DE URUMACO DISTRITO DEMOCRACIA, ESTADO FALCON



BASE : HOJA 6149, D.C.N., 1968  
MANANTIAL SULFUROSO

### 3.7.3. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DEL ESTADO LARA

#### Volcán de Sanare.

Esta divulgada manifestación (La.1) es conocida desde 1579 (URBANI, 1982b) y denominada *volcán* por su emisión de *humo* (en realidad vapor de agua), por lo tanto debe clasificarse como fumarola. La única descripción detallada que conocemos de esta manifestación (y con numerosas fotografías) es la del Hermano NECTARIO MARIA (1938), la cual ha sido reimpressa parcialmente en diversas oportunidades. Señala que es una típica fumarola, con emisión de vapor a una temperatura máxima de 115 °C, medidos a 60 cm dentro de una abertura. No se conocen fuentes termales en la zona, que pudieran estar asociadas a este fenómeno, y las descripciones concuerdan en señalar, que la actividad de emisión de vapores aumenta después de fuertes lluvias, llegando inclusive a producirse ruidos o "explosiones subterráneas". La temperatura medida es la mayor que se ha registrado de manifestación geotérmica alguna en Venezuela, y no es de extrañar que en períodos de lluvia, el agua meteórica que pueda infiltrarse llegue al estado de ebullición y por consiguiente sea emitida una mayor cantidad de vapor. La manifestación se ubica a 1 Km de la traza activa de la falla de Boconó, en rocas de la Formación Trujillo (Eoceno - Paleoceno), según se desprende del mapa geológico correspondiente de la empresa LAGOVEN S.A.

#### Volcancito de San Miguel.

Se localiza a unos 8 Km al este del anterior, y con características similares, existiendo algunas grietas por donde brotan gases (no inflamables, ni tóxicos, quizás vapor de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>), con una temperatura máxima medida de 80 °C (de BELLARD, 1983). Esta ubicado a unos 4 Km de la traza de la falla de Bocono, en rocas de la Formación Trujillo, aunque muy cerca aparecen bloques deslizados de la Formación La Luna, lo cual es el rasgo geológico fundamental del área.

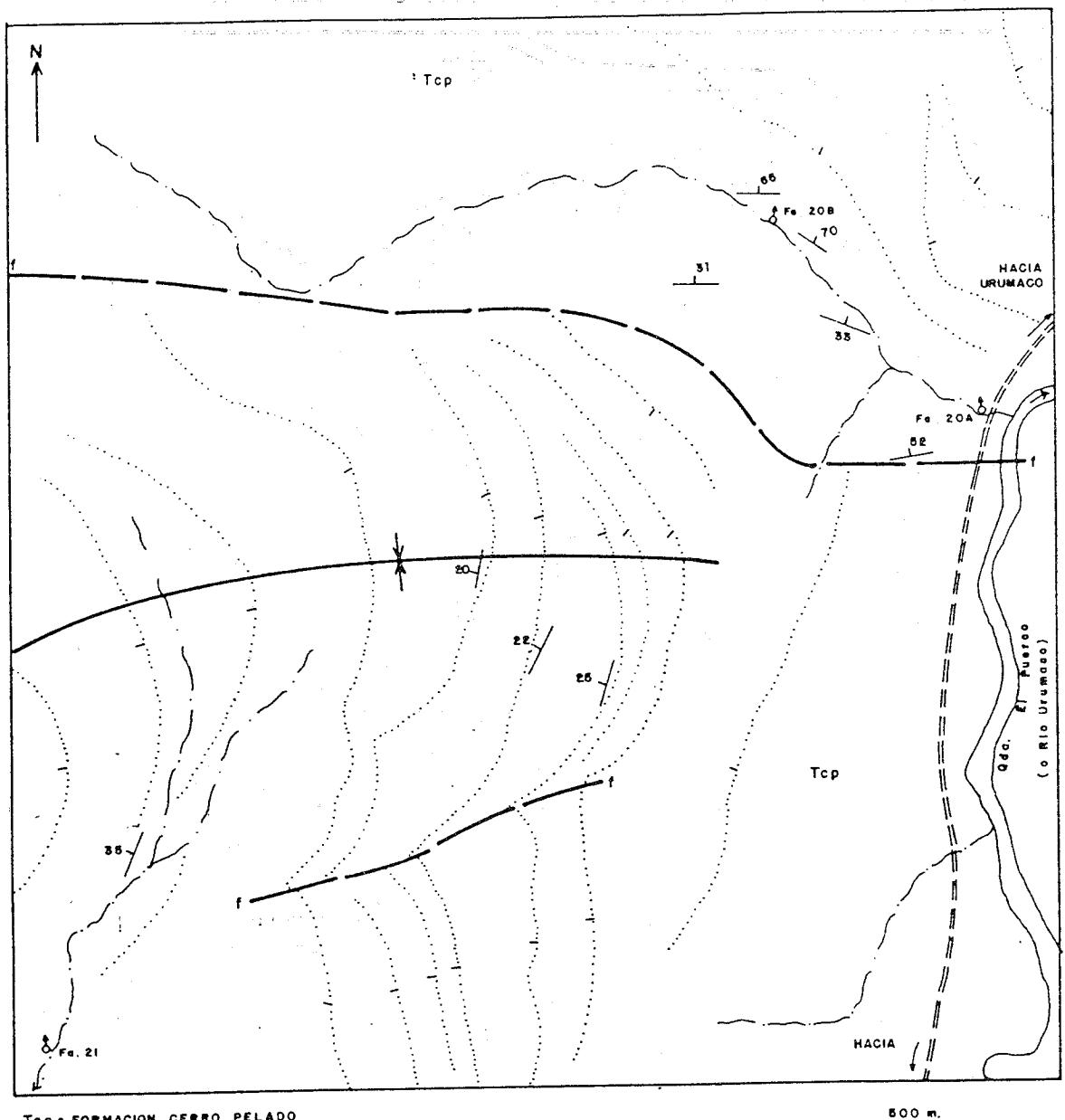
#### Fuente de Sogoré, Arenales, Carora.

Esta fuente termal (La.3), fue mencionada por Manuel LANDAETA ROSALES (1889, en URBANI, 1981e), señalando que es sulfurosa y con una temperatura de 40 °C. Según el mapa D4 de LAGOVEN SA, en la localidad de Sogoré afloran rocas de la Formación Trujillo (Eoceno-Paleoceno), con bloques deslizados de la Formación La Luna.

#### Fuente de Los Baños, río Sicare, Palmarito.

Esta ubicada muy cerca del límite entre Lara y Zulia (La.4), brota en el fondo del valle del río Sicare, sobre la traza de la falla de Los Baños (rumbo N 20 E), a pocos centenares de metros de su intersección con la falla de Valera. GAENSELEN (1952) la describe como una fuente sulfurosa muy

FIG. MAPA GEOLOGICO DE LA ZONA DE LA QDA.  
43 EL PUERCO, SE DE URUMACO, EDO FALCON



caliente, indicando que brota de grietas de una caliza de la Formación Guasare del Paleoceno, pero a pocos metros de su contacto con el Granito de El Baño. Este autor presenta el único análisis físico - químico disponible del agua, no midió la temperatura pero señala que no se puede mantener la mano dentro del agua. En la zona en consideración, afloran predominantemente rocas de la Formación Trujillo, y en la cuña formada entre las dos fallas, afloran rocas del Paleoceno, Cretáceo, y un pequeño cuerpo granítico (Granito de El Baño). HABICHT (1960) publica un estudio geológico + estructural de esta área, del cual reproducimos los cortes geológicos (fig. 122-123). En la fig. 44 se presenta un mapa geológico de la zona, tomado de la hoja D-4-C de LAGOVEN S.A.

#### Fuentes de Jordán, Quebrada Arriba.

Esta es una fuente sulfurosa (La.5), que al igual que la anterior, está ubicada en la traza de la falla de Valera, pero en su extremo norte. Brota en rocas de la Formación Castillo del Mio- Oligoceno. La ubicación de esta fuente y de las tres siguientes, aparece en el mapa geológico D4 de LAGOVEN SA.

#### Fuente de Agua Viva, Quebrada Arriba.

Es una fuente sulfurosa (La.6) ubicada a 8 Km al norte del poblado de Quebrada Arriba. Brota cerca de una pequeña falla, en rocas de la Formación Castillo.

#### Fuentes sulfurosas de Bucaral, Quebrada Arriba.

Se localizan dos grupos de fuentes sulfurosas (La.7) con 5 y 7 brotes cada uno. Según el mapa geológico D4A de LAGOVEN S.A. en la zona aflora la Formación Pecaya del Oligoceno.

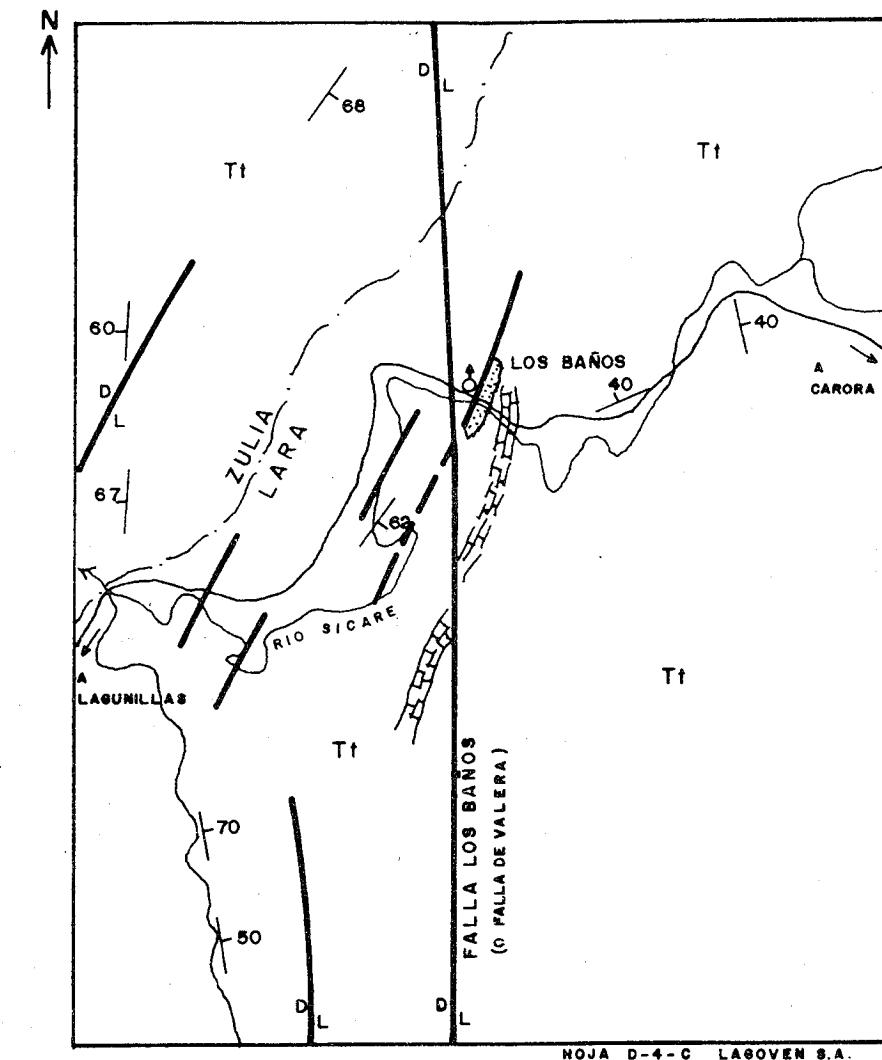
#### Fuentes de Diquiva.

Son dos fuentes sulfurosa (La.8), que brotan a lo largo del río Diquiva, y están asociadas a un complicado sistema de fallas con rumbo NS a N30E. Aflora la Formación Castillo.

#### Otras posibles manifestaciones.

Se han mencionado fuentes termales en los sitios de Quebrada Honda, Sanare y Los Volcanes, Duaca (La.9,10), pero la ubicación de estas posibles manifestaciones es tan incierta, que no se puede adelantar mas información. En relación a los sismos de la región de El Tocuyo, se conocen las siguientes noticias: (1) Aguas sulfurosa y de elevada temperatura brotaron de la tierra después del temblor en el caserío Maracas (al norte de El Tocuyo) [Diario Últimas Noticias, 6-4-1975]. (2) A raíz de los repetidos sismos que se sintieron en el caserío de Gaito el 7-8-1958, se dice que de la tierra está brotando en estas últimas horas un gran chorro de agua hirviendo y sulfurosa (Diario Últimas Noticias, 8-8-1950).

FIG. MAPA GEOLOGICO Y DE UBICACION DE LAS  
44 FUENTES TERMALES DE LOS BAÑOS, EDO.  
LARA (La. 4)



### 3.8. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DE LA REGION ZULIANA

#### Fuentes sulfurosas de San Francisco, río Socuy.

Se conocen tres fuentes sulfurosas (mapa C2, LAGOVEN SA) ubicadas a 1 Km del río Socuy (Zu.1), y a tan solo 200 m de la traza de la falla del Tigre, que corta lateralmente a la Sierra de Perijá por unos 200 Km de longitud. Según el mapa geológico C2 de LAGOVEN SA, las fuentes brotan de rocas del Eoceno.

#### Fuente sulfurosa de El Milagro, caño Norte, río Guasare.

Según el mapa C2 de LAGOVEN S.A., su ubicación (Zu.2) coincide con el eje del anticlinal de Caño Norte, en rocas de la Formación Colón del Cretáceo.

#### Fuentes sulfurosas de la zona del Caño Buena Esperanza.

En esta área se conocen numerosas emanaciones de hidrocarburos (Zu.3), y asociados a ellas aparecen varias fuentes de aguas sulfurosas (mapa E2 de LAGOVEN S.A.). Se desconoce mayor información al respecto. En la región predominan rocas sedimentarias del Mioceno - Oligoceno.

#### Fuentes de la qda. La Luna y río Cogollo.

Se conoce de la primera manifestación (Zu.4), por la ubicación señalada en el mapa D2A de LAGOVEN S.A.

La segunda (Zu.7) está citada en A. ROJAS (1873, 1981: 32) quién dice que es una fuente termal de baja temperatura, sulfurosa y que deposita material calcáreo. Las fuentes están cerca del contacto entre rocas de la Formación La Luna y rocas Eocenas.

#### Fuente sulfurosa de El Diluvio.

En el mapa C2D de LAGOVEN S.A. aparecen ubicados en esta localidad (Zu.5) diversos menes de hidrocarburos. Pero el geólogo Carlos ALBRIZZIO (com. verbal, I-84) señala que además de los menes, aquí y en otras localidades de Perijá, aparecen fuentes de aguas sulfurosas, siendo muy típica esta asociación de emanaciones.

#### Fuentes termales de la zona de Tarra y El Cubo, Casigua.

AROCHA (1897, 1949: 67) menciona que ...a poco mas de 7 Km de la confluencia del Tarra y del Sardinata, se levanta un dique o frontón de arenisca de 8 a 10 m de altura con una extensión de 25 a 30 m. En su superficie, se ven una multitud de agujeros cilíndricos... por los cuales brotan con violencia chorros de petróleo y agua hirviendo, causando un ruido semejante al que podrían producir 2 o 3 vapores desahogando sus calderas... Los exploradores ... han bautizado este lugar como "El Infierno".

OLCOTT (1923, en WIEDENMAYER et al., 1926) en un mapa ubica dos localidades sugestivas por su nombre, como son Rincón del Diablo y el campamento Agua Caliente. Sobre la geología de la zona, señala que las arenas de la Formación Mirador son un horizonte con mucha agua caliente y ferruginosa, existiendo manantiales de hasta 72°C en el sitio de Agua Caliente.

En otro informe, OLCOTT (1926) menciona que en la zona de El Cubo y Las Cruces, en 1916 se perforó un pozo, el T1 (El Toldo No. 1 El Cubo), con 267 m de profundidad total, encontrando varios horizontes con agua: 158 y 183 m agua dulce caliente, 256 m agua salada. Este pozo fue cerrado debido a la gran cantidad de agua caliente que salía junto con petróleo. También señala que en Las Cruces, a 1 Km del campamento que tenían establecido, existe una fuente termal sulfurosa con 60°C, y dicha agua bombeada a varios tanques, era utilizada para consumo humano por su excelente calidad sin tener necesidad de hervirla ni filtrarla.

OSTOS (1938:30) nos dice: "El Cubo: En el campo petrolero de este nombre, que tiene la Shell... brota un manantial de aguas sulfurosas muy calientes cuya temperatura oscila entre 90 y 96 °C. Estas aguas son usadas por la compañía para llenar las calderas aprovechando su alta temperatura pero con el grave inconveniente de la obstrucción de la tubería por el espeso sedimento de azufre que se forma... han informado... que se han obtenido curaciones notables en muchas enfermedades de la piel.

El mapa geológico F2 de LAGOVEN S.A. (1962) presenta la ubicación de una serie de menes de petróleo, en el flanco este de la pequeña serranía de Tarra - Los Manueles, brotan de las areniscas de la Formación Mirador, y a lo largo de la traza N-S de una extensa falla de corrimiento, pero no señala ninguna fuente termal ni sulfurosa. En este mapa aparece la localidad de El Cubo (a 2,5 Km al SE de Casigua) y en la zona están cartografiadas las formaciones Mirador y Carbonera.

DE BELLARD (1983) menciona haber visitado la fumarola de El Infierno, río Sardinata, sin presentar información adicional, siendo presumible que se trate de la misma localidad señalada por AROCHA (1897, 1949).

Roberto LAGAZZI (MARAVEN S.A., com. oral, 3-2-1984) informa que en una visita a esta zona, le comunicaron que en el flanco este de la pequeña serranía que emplaza a los campos de Tarra y Los Manueles, existen varios manantiales calientes en el sitio conocido como El Diablo, y que hay un viejo pozo de la Compañía Shell de donde sale agua muy caliente, que después de su enfriamiento se conduce por tuberías a un pequeño poblado.

Toda la información sobre esta zona, apunta a características geotérmicas muy importantes, siendo merecedora de estudios más detallados.

**3.9. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DE LA REGION ANDINA Y SU  
PIEDEMONTE**

**3.9.1. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DEL ESTADO TRUJILLO**

**Fuente termal de El Baño, Motatán.**

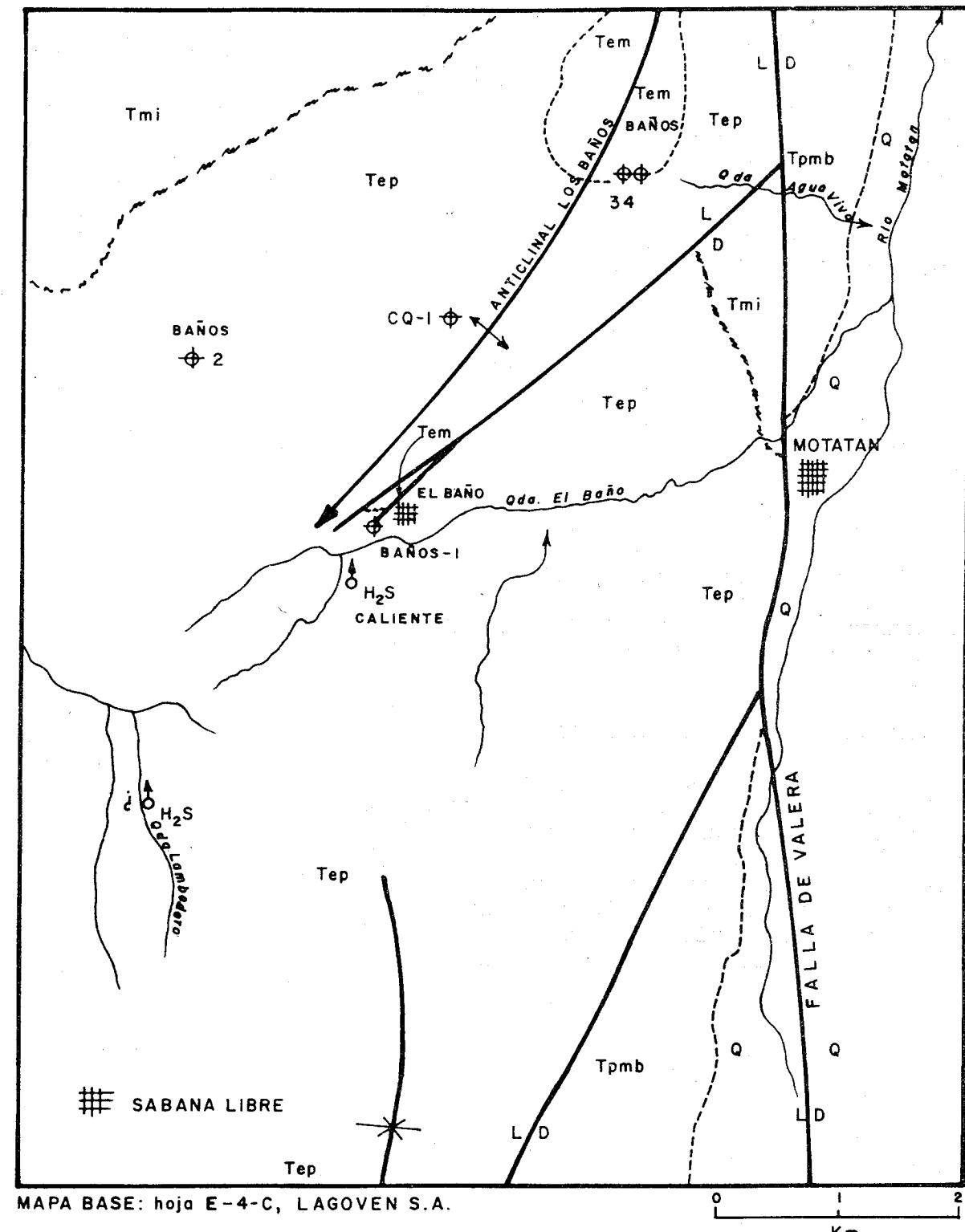
Esta fuente termal (Tr.1) es la más conocida y estudiada del estado Trujillo, siendo aprovechada tanto por un hotel, como por la planta embotelladora del Agua Mineral San Rafael. Ha sido mencionada en publicaciones desde mediados del siglo XIX, indicando su gran aplicación para la curación de enfermedades cutáneas. Hasta 1923 existían varios manantiales termales sulfurosos, pero en esa fecha la empresa petrolera Venezuelan Sun Company Ltd. perforó el pozo exploratorio LOS BANOS 1, justo al lado de los manantiales, con una profundidad total de 299 m. El informe del pozo fue consultado en el archivo de LAGOVEN S.A. del cual extraemos la siguiente información: Perforación iniciada el 4-12-1922, completado el 13-8-1923. Entre 213 y 226 m, se encontró una arenisca dura blanca y salió agua caliente sulfurosa. Entre 256 y 262 salió mas agua y se secaron los manantiales de los alrededores. Entre 273 y 276 m sale mas agua, y entre 280 y 299 m sale mucha mas agua caliente, estimándose una descarga de unos 4800 l/min (35.000 barriles/día). El pozo fue abandonado por la gran cantidad de agua muy caliente, estimada entonces en mas de 150 °F (> 65°C). Esta perforación trajo como consecuencia, la desaparición de algunos manantiales del mismo lado de la falla de donde se ubicó el pozo.

En los años 1926 a 1928 la misma empresa perforó en las cercanías, los pozos LOS BANOS 2, 3, 4, sin ningún resultado positivo desde un punto de vista petrolero. En 1951 la compañía Shell perfora el pozo CQ-1 (Conquistado Wildcat), que alcanza 3466 m. De este pozo se tiene buena información termal, con un registro térmico y temperaturas de fondo tomadas con varios días de intervalo para su equilibrio. La temperatura máxima fue de 102 °C, con lo cual se puede calcular un gradiente geotérmico de 2,2 °C/100 m.

Según el mapa geológico E4A de LAGOVEN S.A. (fig. 45), los manantiales y el pozo LOS BANOS 1, están ubicados casi sobre la traza de una falla con rumbo N 50 E de 5 Km de longitud y que conecta con la falla de Valera. Las rocas aflorantes corresponden a la Formación El Paují, pero la falla la pone en contacto con rocas de la Formación Misoa.

La temperatura máxima medida actualmente en el agua de la perforación es de 73,5°C (NINARD, 1981), y tiene fuerte olor a H<sub>2</sub>S.

**FIG. 45. MAPA GEOLOGICO SIMPLIFICADO Y UBICACION DE MANIFESTACIONES GEOTERMICAS.**



#### Fuentes termales de Agua Viva.

Están ubicadas a 2 Km al oeste del pueblo de Agua Viva, al lado norte de la carretera que conduce a Mene Grande (Tr.2). TOMALIN (1938) y CASTELLANO *et al.* (1982) señalan la existencia de tres manantiales; el primer autor mide una temperatura máxima de 85°C, mientras que los segundos de 80°C. Según el mapa geológico de GAENSLER (1952), en la zona aparecen numerosas fallas con rumbo cercanas a la N-S, paralelas a la zona de fallas de Valera, que aparentemente constituyen el control estructural de la emisión. Las rocas aflorantes son de la Formación Misoa (Eoceno). Los manantiales tienen fuente olor a H<sub>2</sub>S y se observan depósitos de azufre y calcita (R. FALCON, com. oral, 1981). El único análisis físico-químico del agua lo presenta GAENSLER (1952).

#### Fuente termal de Valerita.

Están localizadas a 9 Km al norte (Tr.3) de la fuente anterior, cerca del caserío de Valerita. Según GAENSLER (1952) esta fuente brota justamente en la traza de la falla de Valera, que en esta zona pone en contacto a las formaciones El Pauji al este, y Misoa al oeste (ambas de Eoceno).

#### Fuente termal de Agua Caliente.

Brota a 5 Km al norte (Tr. 4) de la fuente de Agua Viva, y a 1,5 Km al este de la traza de la falla de Valera, en rocas de la Formación Misoa. GAENSLER (1952) le estimó una temperatura superior a 70 °C, y presenta el análisis físico-químico del agua.

#### Fuente termal de Los Bañitos.

Esta fuente termal sulfurosa (Tr.5) aparece en el mapa geológico E4 de LAGOVEN SA, ubicándola entre Agua Viva y Motatán, en la intersección de la qda. El Caño con la falla de Los Bañitos. Esta última falla es subparalela a la Falla de Valera, es normal y produce en su flanco oeste un anticlinal por arrastre, con un eje cartografiado de 3 Km de longitud. En la zona de la manifestación, afloran rocas de la Formación Betijoque, Miembro Vichu (Mioceno-Paleoceno).

#### Fuente sulfurosa de San Jacinto.

Se encuentra al sur de la ciudad de Trujillo. Es fría y sulfurosa (GONZALEZ, 1951) (Tr.6).

#### Fuentes de Monte Carmelo; La Mata, Escuque; Tirandá-Tostos, Boconó; Campo Elias.

Estas fuentes son de ubicación y características muy dudosas, por tanto no se dispone de ninguna información adicional. La ubicación dada en las tablas de coordenadas (IIIt98) para Monte Carmelo, corresponde a la ubicación de un

mene de petróleo, señalado en mapas de geología de superficie de LAGOVEN S.A. Así mismo en 1980 en Monte Carmelo, se obtuvo referencias de un manantial de aguas sulfurosas en las cercanías del poblado.

La fuente de La Mata fue señalada por A. ROJAS (1873, 1981) como muy caliente, su ubicación no está confirmada ni señalada en ninguno de los mapas geológicos de LAGOVEN ni MARAVEN que fueron consultados.

La fuente de Tostos o Tirandá han sido mencionada en muchas publicaciones, y recientemente por CASTELLANO *et al.* (1982) y SCHUBERT (1982) quién la ubica en la traza activa de la falla de Boconó.

La fuente termal de Campo Elias ha sido referida por Rafael FALCON (1983, com. oral), y también se ubica en la falla de Boconó.

#### Fuentes termales de Paramito, Sabanas de Monay.

Se han señalado dos fuentes calientes (Tr.9) muy cerca del caserío Paramito y el río Batey (TOMALIN, 1938). Las fuentes están a muy corta distancia de la traza de una falla con rumbo N 50 E y 8 Km de longitud. Afloran rocas de la Formación Misoa.

#### Fuente termal de Los Bañitos, qda. Agua Caliente, Chejendé.

Ubicada al NW de Chejendé, sobre el cauce de la quebrada Aguas Calientes (Tr.10). Esta en una zona muy complicada geológicamente, con numerosas fallas con rumbos cercanos al N-S, que subdividen la zona en cuñas, donde afloran rocas del Cretáceo y el Terciario. La fuente está sobre la traza de una falla, que pone en contacto a las formaciones El Pauji, al oeste, y Aguardiente al este (TOMALIN, 1938 y LAGOVEN S.A., hoja E4).

#### Fuentes sulfurosas de Caraño-Caus.

En esta zona brotan al menos siete menes de petróleo (Tr.13), que aparecen en el mapa geológico E4 de LAGOVEN S.A. y en SCHUBERT (1943), pero E. CASTELLANO *et al.* (1982) en su ponencia señala que en esta zona también aparecen manantiales de aguas sulfurosas. Estas manifestaciones están controladas por el sistema de fallas de Carano - Las Virtudes.

#### Fuentes sulfurosas de Lambedero, Batatillo.

TOMALIN (1938) ubica tres manantiales (Tr.14) sulfurosos. Están sobre la traza de una falla con rumbo N 45 W y 11 Km de longitud, que afecta a rocas de la Formación Misoa.

#### Fuente sulfurosa de Lambedero, San Antonio.

Ubicada cerca del caserío de San Antonio (Tr.15), brota de

rocas de la Formación Misoa, no habiéndose cartografiado ninguna falla en los alrededores (TOMALIN, 1938).

#### Fuente termal de Los Baños, norte de La Viciosa.

Ubicada por TOMALIN (1938) quien midió una temperatura de 60 °C. Brota de terrazas recientes rodeadas de rocas de la Formación Misoa. En los mapas geológicos de la región no aparece ninguna falla en esta zona, pero pudiera existir algún control tectónico, posiblemente cubierto por la amplia zona aluvional.

#### Fuente termal del río Jirajara, norte de Valerita.

Ubicada por TOMALIN (1938) en el flanco norte del valle del río Jirajara (Tr.17), en rocas de la Formación Misoa, y a unos 2 Km de la falla de Sabana de Monay, que es una de las mayores estructuras de la región, con una traza cartografiada por cerca de 40 Km.

#### Fuente sulfurosa de la qda. Lambedero, Sabana Larga.

De esta localidad (tr.18) solo se dispone la referencia dada por los vecinos de poblado de Los Baños, describiéndola como sulfurosa. Según el mapa geológico E4 de LAGOVEN S.A. en la quebrada Lambedero afloran rocas de la Formación El Pauji.

### 3.9.2. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DEL ESTADO MERIDA

A continuación se presentará un resumen de las características geológicas, de las zonas con manantiales termales y sulfurosos del estado Mérida. Para ello nos basaremos principalmente en los mapas geológicos presentados en BURGUERA et al. (1981), elaborados por los geólogos del Ministerio de Energía y Minas. También se utilizan en muchos casos los mapas de geología de superficie compilados por LAGOVEN S.A., así como el informe de SCHAUER (1943). Las figs. 46 y 140 presentan la ubicación de dichas fuentes.

#### Fuentes de Aguas Calientes, Ejido.

Están ubicadas a 2 Km al oeste de Ejido, y son las fuentes termales más conocidas y populares del estado Mérida (Me.1). Brotan de afloramientos de calizas de la Formación Capacho, del Cretáceo medio, pero debajo de ellos hay lutitas y areniscas de la Formación Aguardiente del Cretáceo Inferior, y a unos 100 m en dirección oeste se localiza la discordancia con las rocas de la Formación La Quinta. Las fuentes están controladas por una falla, paralela a la traza activa de la falla de Boconó (fig. 140a).

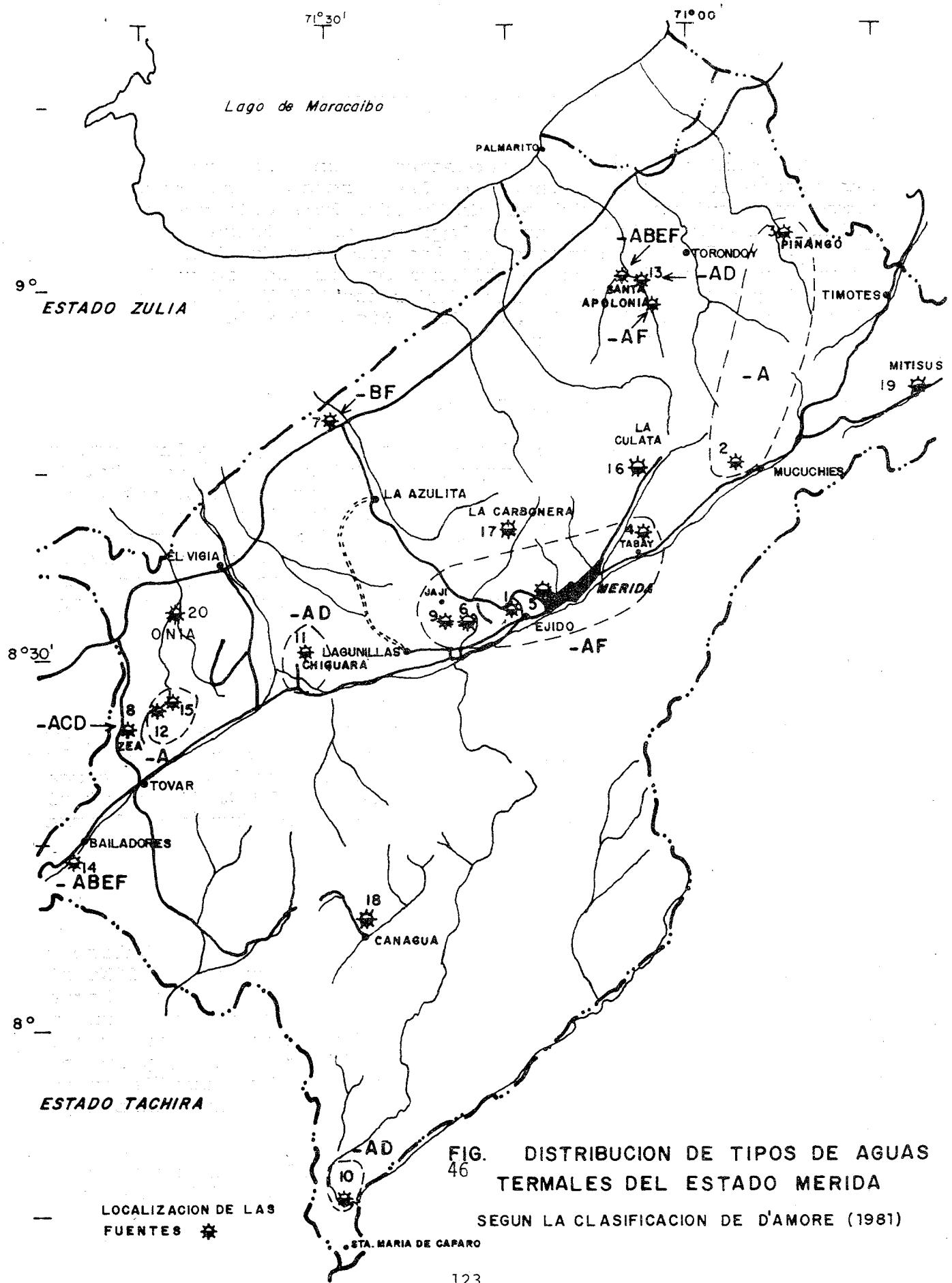
#### Fuente de Mucuchies.

Esta ubicada a unos 4 Km al NO del pueblo de Mucuchies (Me.2), a una altura 4100 m snm, siendo por consiguiente, la fuente termal ubicada a mayor altura de Venezuela. Brota a una temperatura de 47 °C, mientras que  $t(ma)$  = 10 °C. El manantial está en un afloramiento de pegmatitas de la Formación Sierra Nevada del Precámbrico.

#### Fuentes de Piñango.

Se localizan en las margenes de la qda. Baño Caliente (Me.3), a unos 6 Km al norte del pueblo de Piñango y a 10 Km al SE del pueblo de Las Virtudes, en la vertiente con drenaje hacia el lago de Maracaibo. Los manantiales se encuentran en un afloramiento de granito, aparentemente intrusivo en rocas gnáisicas y esquistosas de la Formación Sierra Nevada, y en las cercanías afloran cuerpos pegmatíticos. Los dos manantiales se encuentran controlados por la traza de una falla con rumbo N 70 E.

En el mapa geológico de SCHAUER (1943) se ubica otro manantial sulfuroso en las rocas metamórficas, a 1,5 Km al sur de Las Virtudes (fig. 49).



#### Fuentes de Tabay.

Hay dos grupos de fuentes (Me.4) ubicadas aproximadamente a 2,5 y 3,5 Km respectivamente, al norte de Tabay. El grupo más alejado brota de afloramientos del Granito de El Carmen, y el mas cercano de Tabay, de rocas gnéisicas y pegmatitas de la Formación Sierra Nevada. El contacto entre ambas unidades esta cartografiado entre ambos grupos de manifestaciones. La falla mas cercana a las fuentes es la de Boconó, a unos 3 Km al SE.

#### Fuentes del río Chama, Mérida.

Son tres manantiales (Me.5) que brotan en la zona aluvional del río Chama, al SO de la ciudad de Mérida, y en la base de la terraza que es asiento de dicha ciudad. Las formaciones aflorantes mas cercanas son Sierra Nevada del Precámbrico y Sabaneta del Paleozoico. Las fuentes se ubican a 1 Km de la traza de la falla de Boconó.

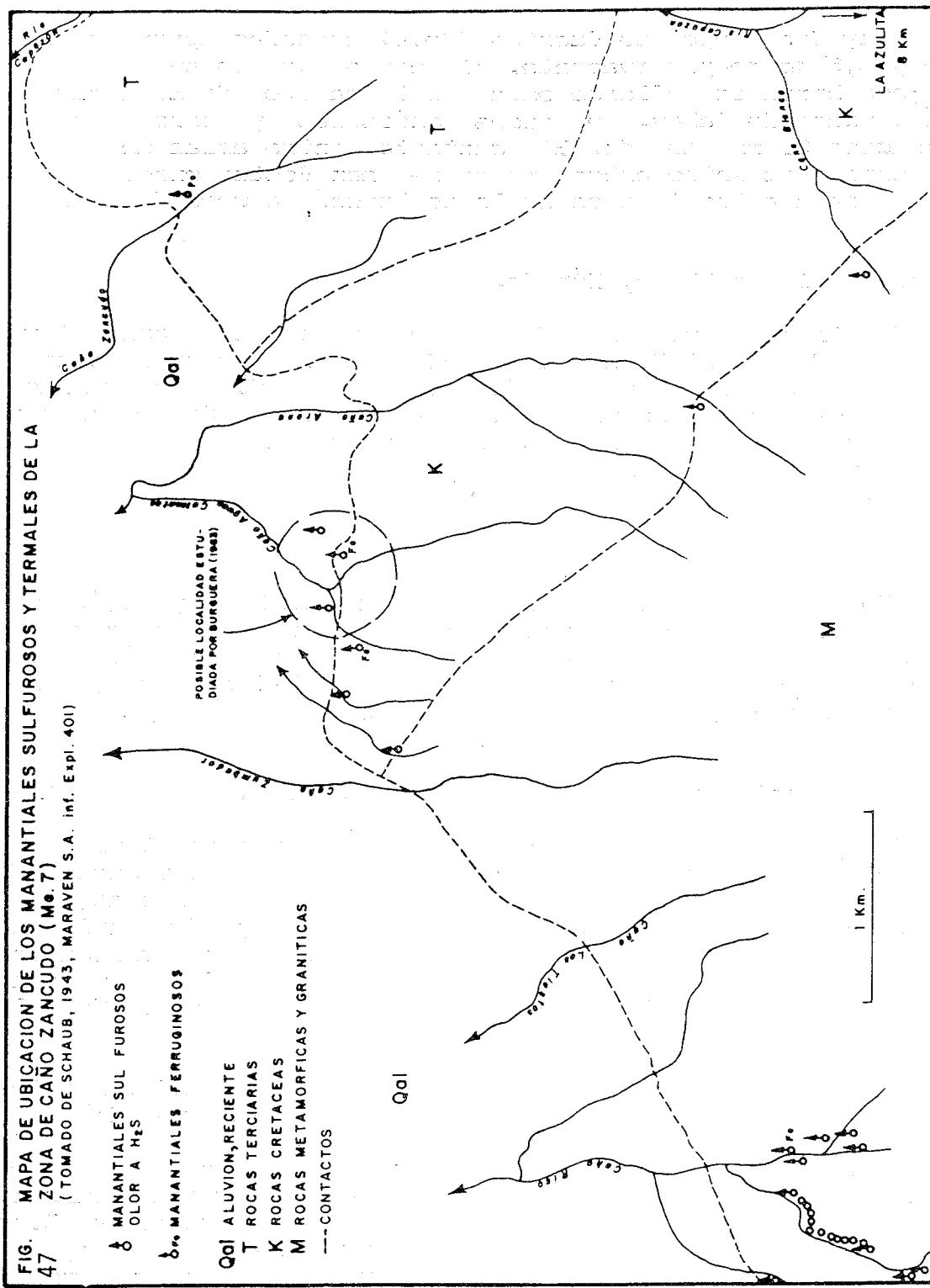
#### Fuente de Jají.

Se ubica a media distancia entre La Mesa y Jají, en una zona cartografiada como Formación La Quinta, a un centenar de metros de una falla (del sistema de fallas de Boconó), que la pone en contacto con rocas de edad Paleózico y Cretáceo (formaciones Río Negro y Aguardiente).

#### Fuentes termales y sulfurosas de Caño Zancudo.

BURGUERA *et al.* (1983a) estudia una fuentes termal (Me.7) de la zona de Caño Zancudo, en el aluvión del piedemonte de la Cordillera Andina, a 1 Km al norte del contacto entre formaciones de edad Precámbrico, Cretáceo y Terciario. A una distancia de 2 a 4 Km al SE se han cartografiado varias fallas importantes, con un rumbo aproximado de N 50 - 70 E, que son las controlantes de la linealidad del piedemonte NO de la Cordillera Andina.

SCHAUB (1943) en su estudio geológico del piedemonte Andino ubica 6 manantiales sulfurosos en la zona del Caño Aguas Calientes [que es la localidad señalada por BURGUERA *et al.* 1983]. Así mismo ubica dos fuentes sulfurosas que brotan en el contacto discordante entre las rocas metamórficas Precámbricas y las de edad Cretáceo, en los caños Arena y Blanco, al SE de Me.7. Así mismo en Caño Rico a unos 4 Km al SW, ubica 21 manantiales sulfurosos y ferruginosos, los cuales brotan de las rocas metamórficas. Esta zona esta sin estudiar desde un punto de vista geotérmico (fig. 47).



UBICACION DE FUENTES TERMALES O SULFUROSOS DEL AREA DE ZEA

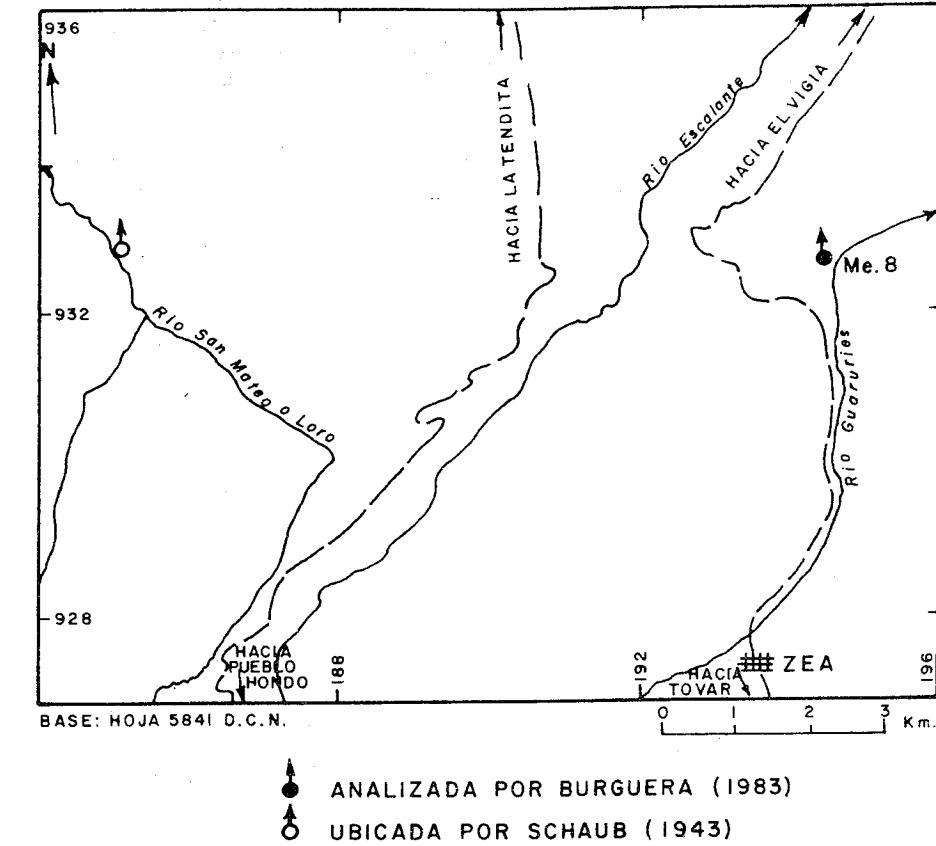


Fig. 48.

UBICACION DE FUENTES TERMALES Y SULFUROSAS DEL AREA DE LAS VIRTUDES

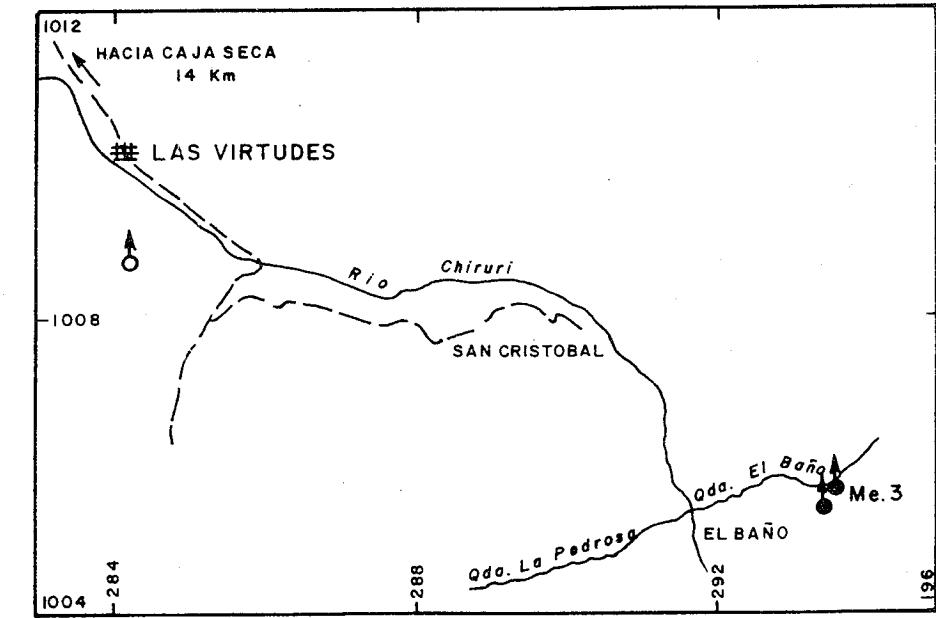


Fig. 49.

#### Fuentes de Zea.

Son dos fuentes (Me.8) que se localizan a 5,7 Km al norte de Zea, en el río Guaruríes, muy cerca del contacto entre las formaciones Capacho y La Luna, y a 150 m de una falla con rumbo N 40-50 E. En un radio de 2 Km se encuentran rocas de las formaciones Tostos, Río Negro, Apón y Aguardiente.

A 9 Km al oeste del manantial anterior, SCHaub (1943) ubica un manantial sulfuroso en el caño San Mateo o Loro (fig. 48).

#### Fuentes de la Qda. La Sucia.

Son dos fuentes (Me.9) ubicadas en el cauce de la quebrada del mismo nombre, a 2 Km del río Chama. Manan de afloramientos de la Formación Tostos del Carbonífero. A 1 Km al norte se ubican las trazas de dos fallas, paralelas a la falla de Boconó, que ponen en contacto a las formaciones Tostos y La Quinta. En el fondo del valle del río Chama (a 2 Km al SE) se ubica la falla de Boconó.

#### Fuente de Chiguará.

Esta localizada en la qda. El Rincón (Me.10), cerca del sitio Los Quinos, a 4,8 Km al norte de Chiguará. Brotan de afloramientos de la Formación La Luna, pero a 500 m al NE y SO respectivamente se encuentran los contactos con las formaciones Capacho y Colón. La zona está muy tectonizada, y a una distancia entre 0,5 y 2 Km están las trazas de importantes fallas con rumbo N 25 - 40 E, que se extienden hacia La Azulita.

#### Fuentes de Aguas Calientes, Santa María de Caparo.

Se ubican al norte de Santa María de Caparo, a 600 m del río Tamaca (Me.11). Allí aflora la Formación La Quinta, pero a 2,5 Km al NO se ubica la discordancia con la Formación Río Negro. A 2 Km de las fuentes está una falla con rumbo N 40 E, del sistema de fallas de Caparo.

#### Fuente de Los Giros o de Las Dantas.

Hay cuatro manantiales (Me.12) ubicados a 8 Km al SE del pueblo de Los Giros, los cuales brotan en el contacto entre las formaciones Capacho y La Luna. La zona está muy tectonizada y cercana a la discordancia entre la Formación Sierra Nevada, con las formaciones Río Negro, Apón y Aguardiente, continuando por encima la secuencia estratigráfica con las formaciones: Capacho, La Luna, Colón, Barco, Los Cuervos y Mirador.

#### Fuentes de Santa Apolonia.

Esta denominación general es debida al caserío del mismo nombre, cerca del cual se conocen tres grupos de fuentes termales (Me.13), dando un total de más de 12 manantiales.

Las de Santa Apolonia Arriba y del medio, se ubican en afloramientos de un cuerpo granítico, señalado como intrusivo dentro de la Formación Sierra Nevada del Precámbrico. Están muy cerca del cauce del río San Pedro, en el cual se ha cartografiado una falla de más de 10 Km de longitud.

Las fuentes de Santa Apolonia abajo se ubican en la qda. El Yeso, brotan de los contactos entre las formaciones Cretaceas (Aguardiente, Capacho, La Luna y Colón). Estas forman una especie de cuña, limitada por discordancias: con granito en la parte basal y la Formación Misoa hacia arriba.

En esta área existen otros manantiales, a saber: (1) SCHaub (1943) señala tres manantiales sulfurosos (fig. 50), los cuales ubicaremos en relación al poblado de Santa Apolonia: (a) Qda. Lagunetas, a 10 km al norte. (b) Río Mayapa, a 8 Km al norte. (c) Río Azufre o Garganta, a 14 Km al oeste. (2) Francisco GUTIERREZ (com. oral, 15-10-1983) menciona la existencia de fuentes sulfurosas a unos 4 Km al oeste de Santa Apolonia, en la qda. El Oso. (3) A 20 Km al oeste de Santa Apolonia, existe un poblado y un río con el nombre de Aguas Calientes, lo cual hace pensar en la existencia de algún manantial termal.

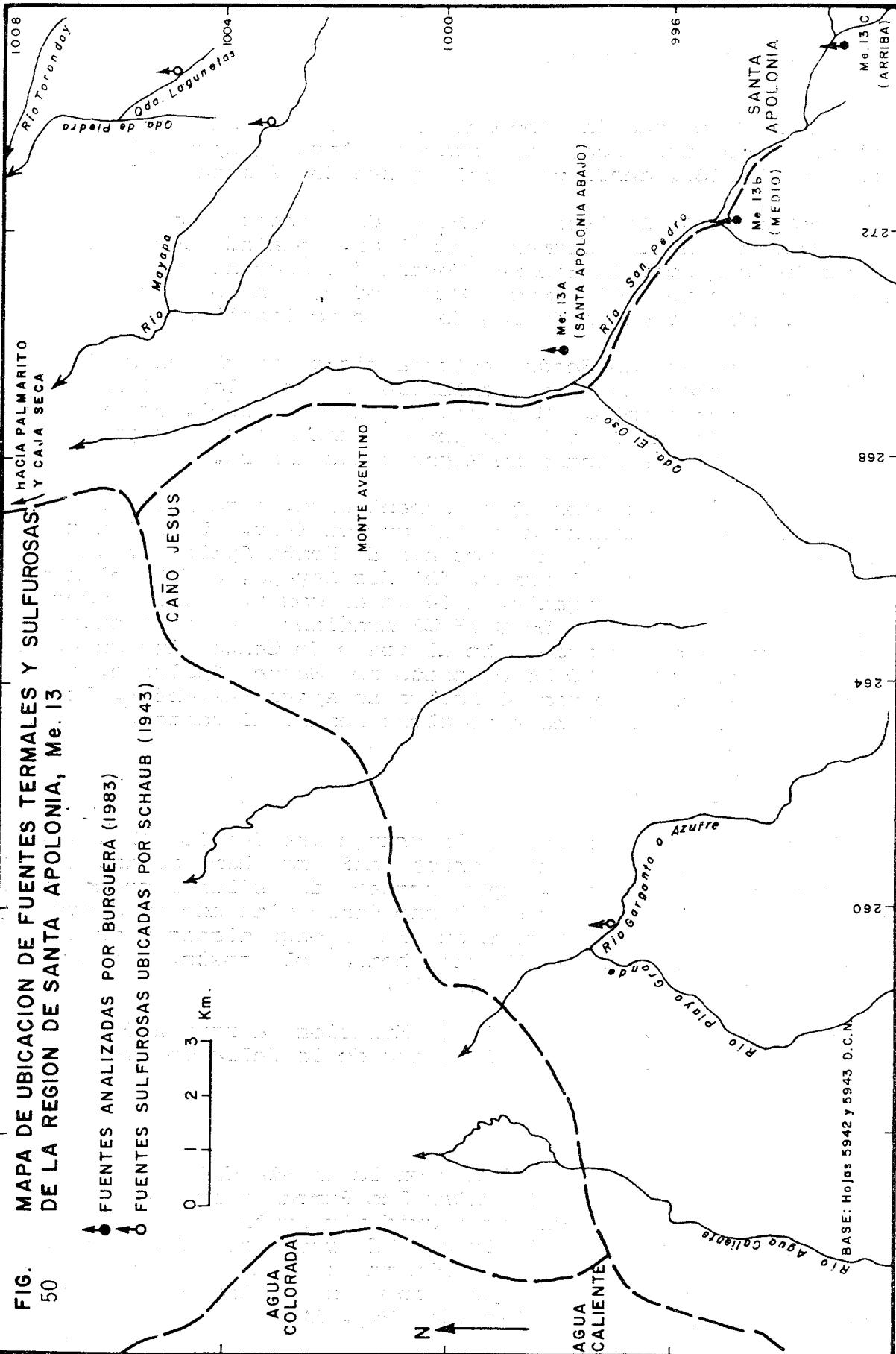
#### Fuentes de Bailadores.

Están ubicadas cerca de la granja Las Tapias (Me.14), a unos 5 Km al sur de Bailadores; allí se han descrito dos manantiales muy cercanos, que brotan de afloramientos de un cuerpo granítico. Esta unidad tiene forma elongada en dirección N-S (5 x 1 Km) y es intrusivo en rocas esquistosas y gnéisicas de la Formación Sierra Nevada hacia el oeste, y con rocas máficas metamorfizadas hacia el este.

En el fondo del valle del río Mocoties a unos 2,5 Km al NO de los manantiales, se ubica la traza de la falla de Boconó.

#### Fuente de Bocadillos.

Esta fuente (Me.15) brota en la cresta del anticlinal de Onia, muy cerca del contacto entre las formaciones Capacho y La Luna. No hay fallas que en forma evidente controlen la ubicación de la fuente, pero a 2 Km tanto al NO como al SE, hay sendas fallas, una normal que involucra a las formaciones del Terciario, y una inversa que pone en contacto a las rocas Cretaceas con un cuerpo de Granito (Fig. 52).



#### Fuente sulfurosa de La Culata.

Esta fuente es fría y sulfurosa (Me.16), y esta localizada en el fondo de un valle controlado por una falla de unos 20 Km de extensión y rumbo aproximadamente N-S. En la ladera este afloran rocas Precámbricas de la Formación Sierra Nevada y el Granito de El Carmen, mientras que en la ladera oeste afloran formaciones sedimentarias del Cretáceo y Terciario (Capacho, La Luna, Colón). La zona de la fuente esta muy tectonizada y fallada.

#### Fuente de La Carbonera.

Aparece en el cauce de la qda. Pedregal (Me.17), a 1 Km al NE de la hacienda La Carbonera. Brota en afloramientos de la Formación La Luna, los cuales forman una estrecha franja de unos 300 a 500 m, con afloramientos de las formaciones Capacho y Colón, a unos 150 m aguas arriba y abajo respectivamente. A 200 m al norte esta la traza de una extensa falla con rumbo E-O.

#### Fuente de la Libertad de Canaguá.

Esta es una fuente de agua fría y sulfurosa (Me.18), ubicada en la traza de una falla con rumbo N 30 E (del sistema de fallas de Caparo). Dicha falla pone en contacto rocas de la Formación Mucuchachi (Paleozoico) al oeste y las formaciones Capacho, La Luna y Navay al este. El agua brota de una zona pantanosa dentro del área de afloramientos de la Formación Navay.

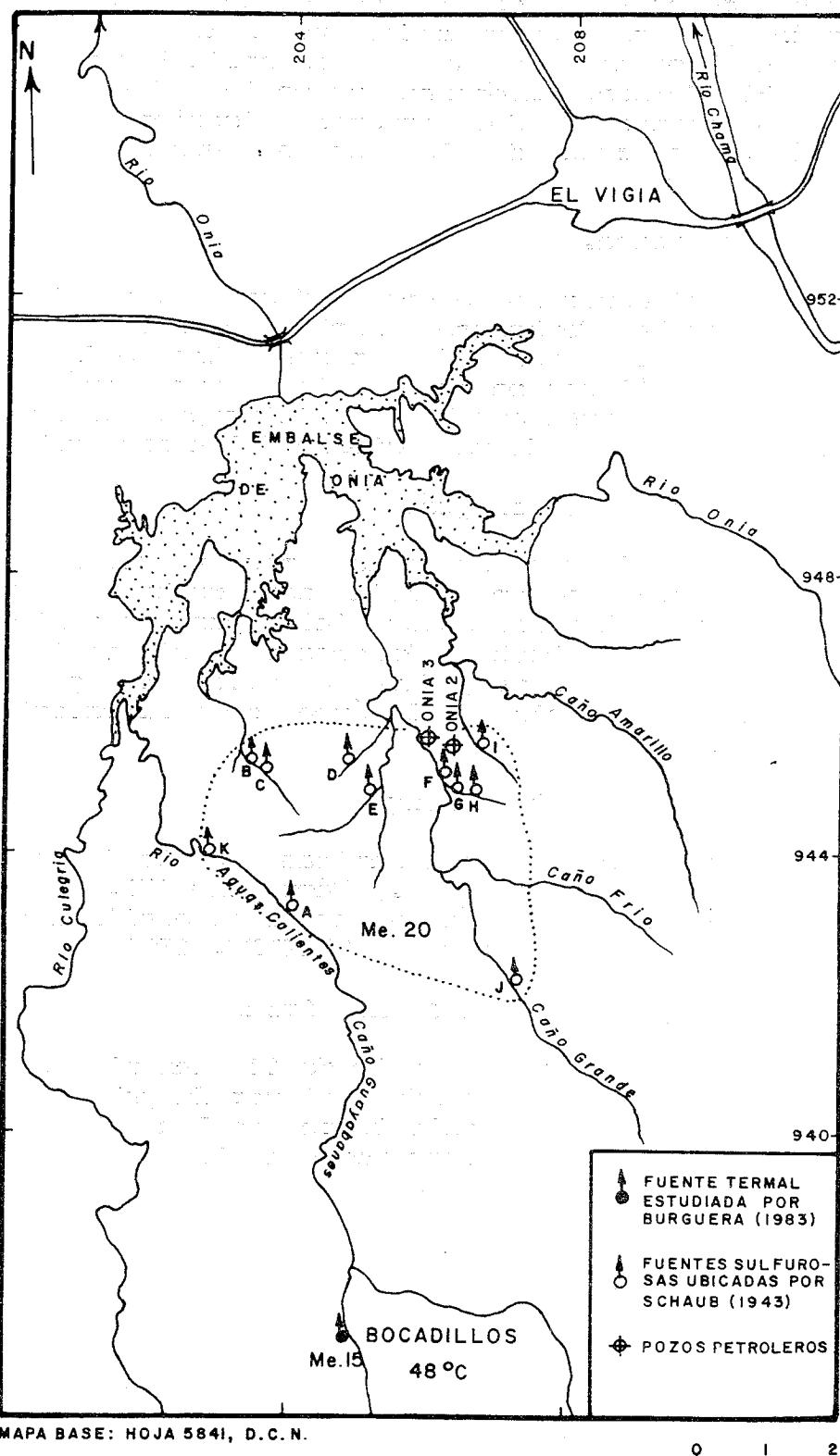
#### Fuente de La Mitisús, Santo Domingo.

Se localiza en la carretera Barinas - Santo Domingo, a 50 m de la entrada a la Represa J.A. Páez (Me.19). Es tibia y su caudal es muy pequeño y esporádico, no se ha analizado. Brota de un afloramiento de gneis bandeado (SCHUBERT, 1981).

#### Fuentes sulfurosas de Onia, SW de El Vigia.

SCHAUB (1943) ubica un conjunto de 11 manantiales de aguas sulfurosas (Me.20), en Caño Grande y el río Guayabanes [en cuyas cabeceras se encuentra la fuente termal de Bocadillos (Me.15), con 48 Cl]. En esta región afloran rocas de la Formación Misoa.

FIG. MAPA DE UBICACION DE LOS MANANTIALES SULFUROSOS DE ONIA (Me. 20), EDO. MERIDA.



### **3.9.3. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DEL ESTADO TACHIRA**

En la fig. 52 se presenta un mapa general de ubicación, de las fuentes termales y sulfurosas conocidas de estado Táchira, las cuales se describirán a continuación.

## Fuentes termales de Aguas Calientes, Urena.

Están localizadas cerca del caserío de Aguas Calientes, a 2,5 Km de Urena (Ta.1). Según el mapa G2 de LAGOVEN S.A. los manantiales brotan de rocas de la Formación León, cerca del contacto con la Formación Carbonera (fig. 54). Las principales fallas de extensión regional del área, tienen un rumbo N 40 E, pero esta dirección no concuerda con la orientación NW que presentan los numerosos manantiales individuales (fig. 55).

Estas fuentes son las mas conocidas de la región andina, con 22 análisis y estudiadas por el mayor numero de autores, entre otros: OTERO *et al.*, 1939; BRICEÑO MAAS, 1960; VILLARROEL, 1976 y NINARD, 1977. Del estudio de las características químicas y temperatura de dichos brotes, se desprende que existen tres tipos distintos de aguas (fig. 54), pero sobre esto se discutirá con mas detalle en el capítulo siguiente.

## Fuente termal del Suspiro, Seboruco.

Ubicada en el sitio denominado El Suspiro, a unos 4,5 Km al oeste de Seboruco (Ta.2), el agua brota a 53 °C y tiene olor a H<sub>2</sub>S. De los mapas geológicos de la empresa LAGOVEN S.A., se desprende que en la zona de la fuente, afloran rrcas de las formaciones Cretaceas: Apón, Aguardiente, Capacho, La Luna y Colón, en franjas muy estrechas con orientación N 30 E, así mismo hay varias fallas normales con esta misma dirección, que permiten la repetición de dichas formaciones.

### Fuente termal de El Corozo.

Ubicada a 8 Km al sur de San Cristobal, en las margenes del río Torbes (Ta.3). Brota a partir de rocas de la Formación El Barco (Paleoceno), con rumbo N-S y fuerte buzamiento al oeste; en esa misma dirección, la secuencia normal pasa a rocas de las formaciones Los Cuervos, Mirador y Carbonera del Eoceno. El manantial está a menos de 100 m al oeste, de la traza de una falla normal con rumbo N 10° E y 9 Km de longitud.

### Fuente fría sulfurosa de El Tampoco.

Esta fuente esta localizada al sur de San Antonio del Táchira (Ta.4), a unos 4 Km en dirección hacia Rubio. Se desconoce su ubicación exacta, pero la zona es geológicamente muy compleja, donde participan por lo menos cuatro formaciones Terciarias, a saber: Los Cuervos, Mirador, Carbonera y León, y así mismo hay numerosas fallas con direcciones N45 E y N 40-50 W.

## Fuentes termales de La Grita.

Según OSTOS (1938) en las cercanías de La Grita se encuentran tres manantiales (Ta.5): el de Aguas Calientes con 43 °C, la fuente de Azul y un agua mineral fría conocida como la Vichy de La Grita.

Fuente de El Palmar, San Pedro del Río, Colón.

Esta fuente fue señalada por BURGUERA *et al.* (1982), pero sin mayor información sobre la misma (Ta. 6).

## Fuentes termales de Aza y Zuñiga.

Ubicadas en los ríos Aza y Zuñiga, al sur de San Cristóbal, y según el mapa H2 de LAGOVEN S.A., ambas fuentes brotan a traves de una falla normal con rumbo E-W de unos 10 Km de longitud cartografiados. La fuente de Zuñiga (Ta.8) brota de afloramientos de la Formación Aguardiente, aun cuando en el flanco sur de la citada falla y a corta distancia, afloran rocas de la Formación Río Negro.

La fuente de Aza (Ta.7) según el mapa de MACELLARI (1982) (fig. 55), se ubica en la intersección de la falla ya mencionada con un corrimiento de rumbo N 40° E, en afloramientos de la Formación Río Negro (Cretáceo Inferior).

## Fuente termal de La Mona.

Esta fuente (Ta.9) se ubica a 1,8 Km al SE de la fuente de Corozo. Brota en la traza de una falla normal con rumbo N 30 E, que pone en contacto a rocas de las formaciones Capacho al NW, y Aquardiente al SE.

Fuentes de Lobatera, La Aguadita, Chorro Hediondo, Cania, Zorca,  
San Josesito, Perico y Capacho.

OSTOS (1938:25) cita estos manantiales pero con muy poca información adicional. En Lobatera (Ta.10) menciona un manantial se agua ferruginosa con 26°C. La Aguadita (Ta.11) la señala como sulfurosa y caliente. La de Capacho (Ta.17) con 26 ° C. Las demás fuentes las cataloga como frías, ya sea 'sulfurosas', 'salinas' o 'alcalinas'. No se posee mas información sobre ellas.

Fuente sulfurosa de La Sureña, La Dantera.

Aparece ubicada en el mapa H2B de LAGOVEN S.A., a 8 Km al oeste de Rubio, y esta señalada como sulfurosa. Brota en el sitio de La Sureña en una pequeña quebrada afluente del río La Dantera, y en la traza de una falla normal con rumbo N-S, de 10 Km de longitud. Dicha falla pone en contacto a las formaciones Los Cuervos (Paleoceno) y León (Oligoceno) al oeste y este, respectivamente.

Fig. 53. Mapa geológico y de ubicación de las fuentes termales de Aguas Calientes, Ureña, Táchira. (Tomado de ALVARADO et al. 1983).

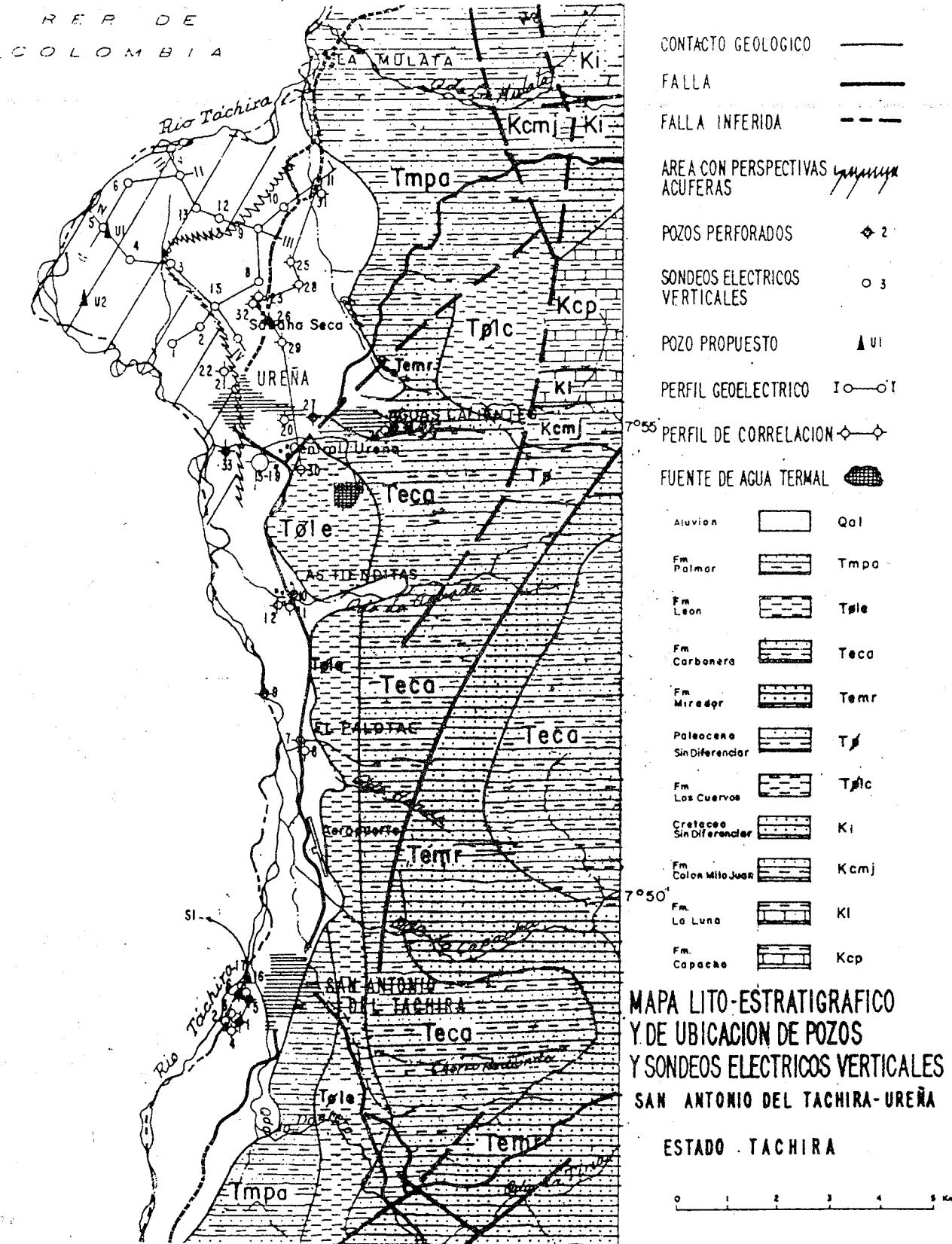
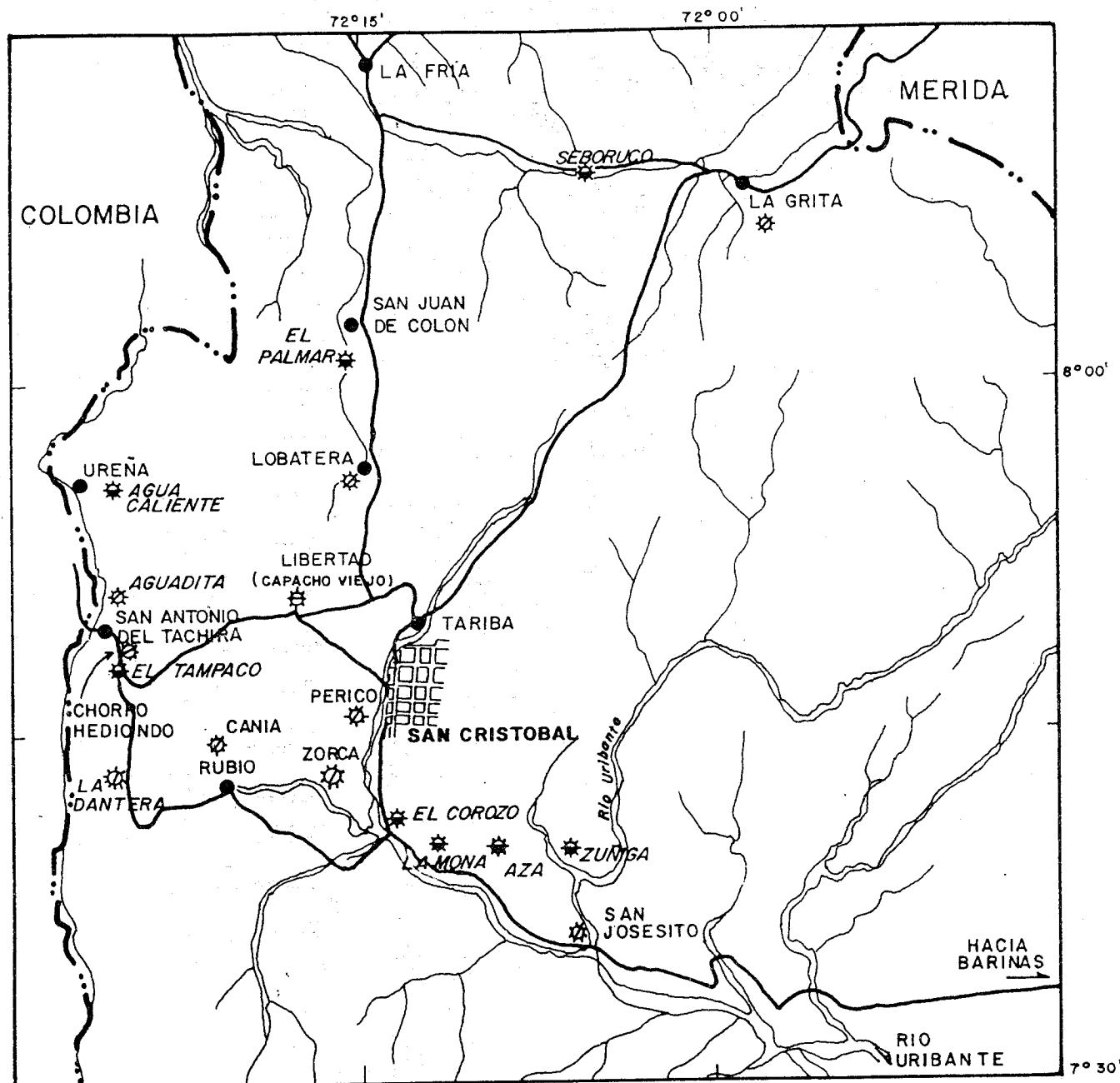


FIG. 52. UBICACION DE FUENTES TERMALES DEL ESTADO TACHIRA.  
( SE INCLUYEN MANANTIALES FRIOS "SULFUROSOS")

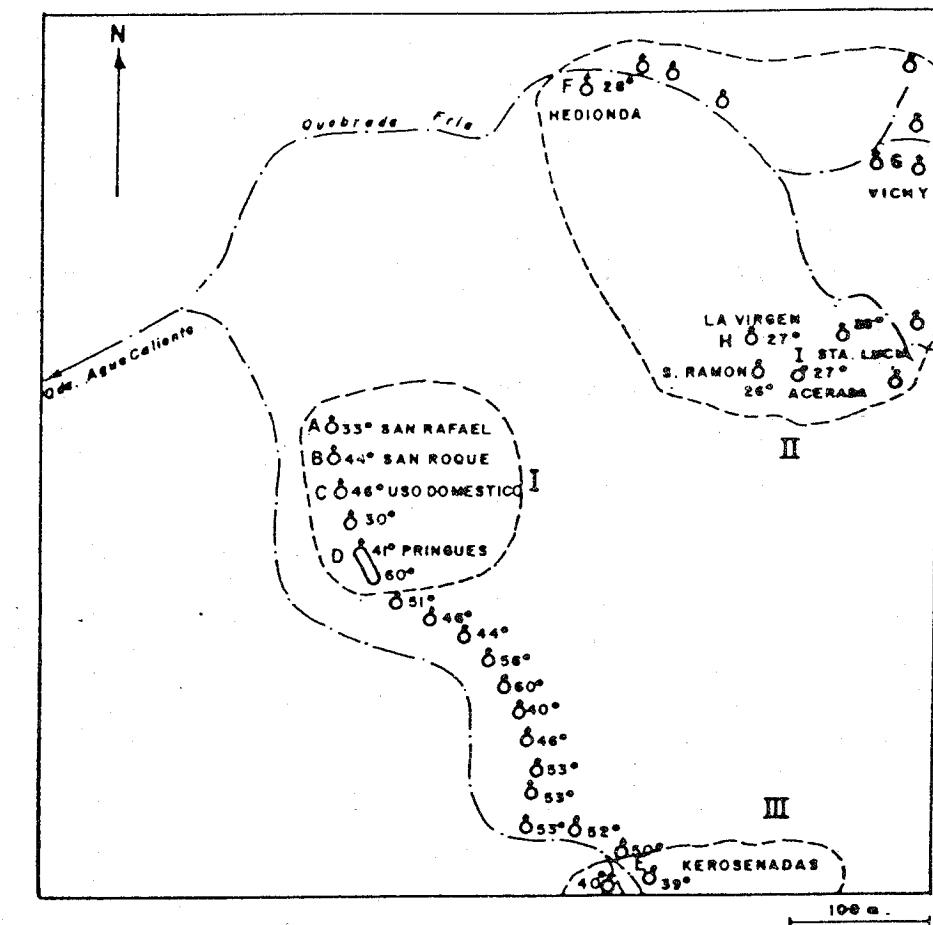


SEÑALADAS POR J. L. BURGUERA (1982)  
SEÑALADAS POR OSTOS (1938)

**SENALADAS POR J. L. BURGUERA**

LA MONA, COROZO, AZA, ZUNIGA Y LA DANTERA,  
UBICADOS POR EL MAPA H2 DE LAGO VEN S.A.

FIG. CROQUIS DE UBICACION DE LOS MANANTIALES DE  
 54 AGUAS CALIENTES, UREÑA-ESTADO TACHIRA; Tg. I  
 (Tomado de OTERO et al. 1939: 121)

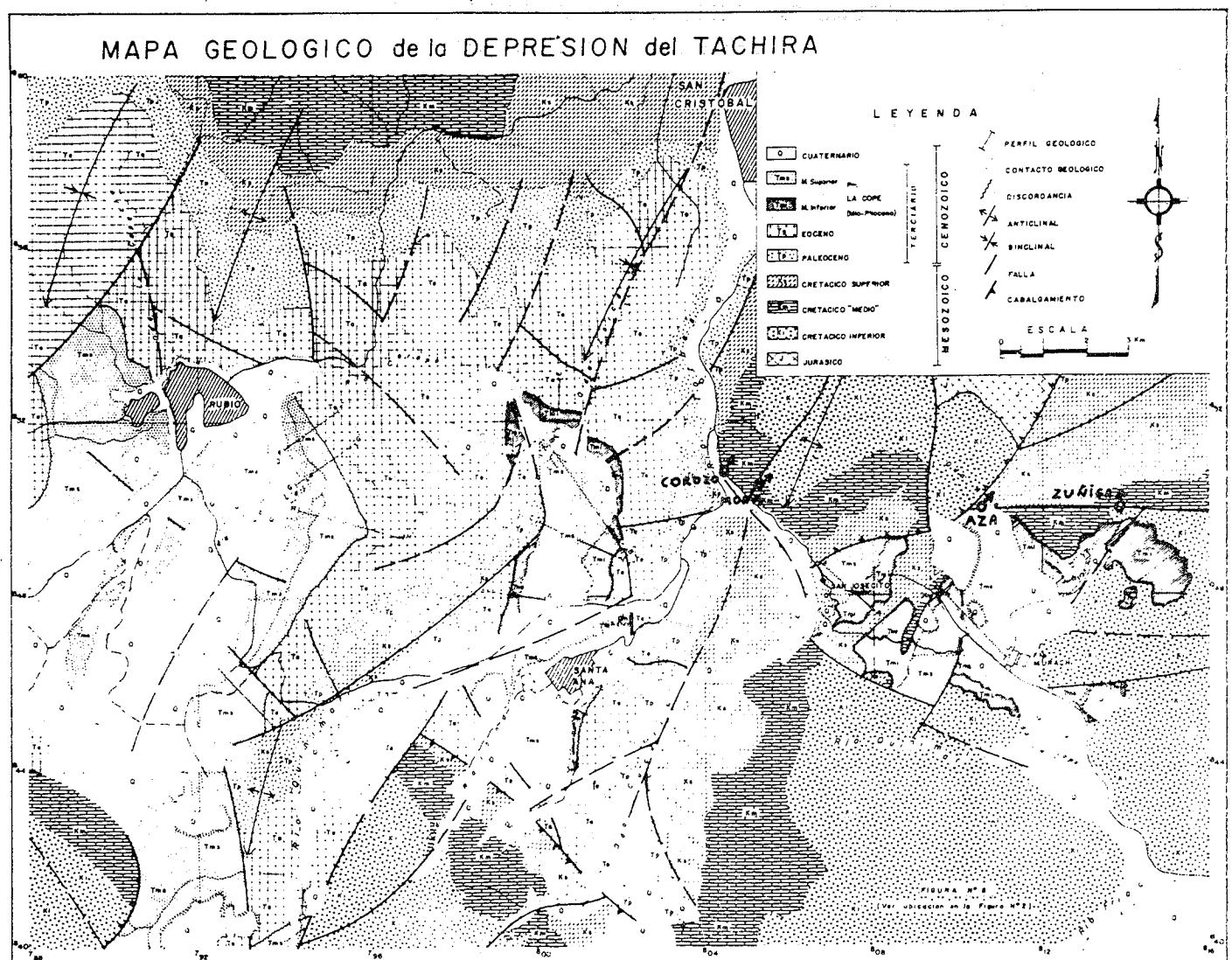


## CARACTERISTICAS

Nombre	Grupo	Tipo de agua:	T.S.D. (prom.)
"Pringues"	I	$\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 >> \text{Cl}$	$\text{Ca} > \text{Na+K} > \text{Mg}$ 376
"Hedionda"	II	$\text{SO}_4 >> \text{HCO}_3 >> \text{Cl}$	$\text{Ca} > \text{Mg} >> \text{Na+K}$ 1173
"Kerosenadas"	III	$\text{HCO}_3 >> \text{SO}_4 > \text{Cl}$	$\text{Na+K} > \text{Ca} > \text{Mg}$ 208

### 3.9.4. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DEL ESTADO BARINAS

Fig. 55. Ubicación de las fuentes termales de Corozo, La Mona, Aza Y Zuñiga, Táchira.



Mapa base: MACELLARI (1982).

No existe ningún estudio sobre las fuentes termales o sulfurosas del estado Barinas. Tan solo se conocen menciones vagas a las mismas, a saber:

OSTOS (1938) menciona a las fuentes de Canagua (Ba. 7), como sulfurosa y caliente, ubicada cerca del río Canagua a poca distancia de Ciudad Bolívar (antes Pedraza). Parangulito y Tío Domingo (Ba. 5), son también señaladas como sulfurosas y calientes, ubicadas a poca distancia del río Calderas, cerca de Barinitas.

PIERCE (1954, lam. IV) ubica en forma aproximada cuatro fuentes sulfurosas, estas son: Pagüey (Ba.6) en el río del mismo nombre; Parángulo (Ba. 5), que pudiera ser la misma localidad mencionada por OSTOS; Corritos, nombre que no localizamos en los mapas actuales, pero por su ubicación hemos preferido utilizar el nombre de Qda. Calderitas (Ba.3); Masparrito (Ba. 4) localizada cerca del pueblo del mismo nombre.

De BELLARD (1983) menciona dos manifestaciones termales: La Laguna, Calderas (Ba.1) y Masparrito (Ba.4).

A estas localidades hemos añadido otra posible manifestación, también con el nombre de Calderas (Ba.2), pero ubicada en el río Asequia (Ramón RAMIREZ, com. oral, 11-1982).

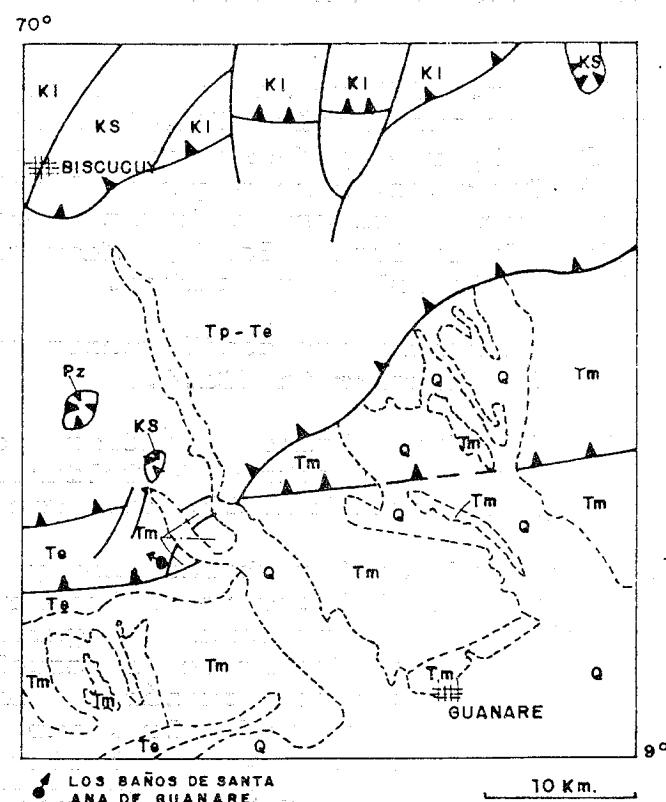
Debido a lo aproximado de las ubicaciones y la falta de información sobre las características de estas manifestaciones, solo podemos presentar una consideración geológica general basada en el Mapa Geológico de Venezuela a escala 1:500.000, concluyendo que dichas fuentes quizás estén controladas tectónicamente por las fallas longitudinales, que conforman el piedemonte de la cordillera Andina, y probablemente broten de las rocas sedimentarias del Terciario, fundamentalmente las formaciones Pagüey y Parángula.

### 3.9.5. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DEL ESTADO PORTUGUESA

En éste estado solo conocemos la fuente termal sulfurosa de Los Baños de Santa Ana de Guanare (Po.1), localizada a 20,4 Km al NW de Guanare (según el mapa de geología de superficie de LAGOVEN S.A.). Es muy conocida y popular por sus efectos curativos, ha sido descrita por ROJAS (1872, 1981:33), ALVARADO (1911, 1981:51) y LOPEZ *et al.* (1943). Este último trabajo presenta los análisis físico-químicos de dos manantiales. Tienen fuerte olor a H<sub>2</sub>S y precipitan un depósito salino de sabor picante. Su temperatura máxima es de 37 ° C. Brota exactamente en la traza de una falla con rumbo N 50 E, en rocas Miocenas de la Formación Parángula.

#### 4. INTERPRETACIONES GEOTERMICAS

FIG.56. MAPA GEOLOGICO Y DE UBICACION DE LAS FUENTES TERMALES DE LOS BANOS DE SANTA ANA DE GUANARE(Po-1),PORTUGUESA



SIMPLIFICADO DE M.E.M (1976) HOJA NC-19-III

##### I.- REGION ORIENTAL

###### 4.1. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DE LAS CUENCA DE LOS GOLFOS DE CARIACO Y PARIA, ESTADO SUCRE

En la tabla 4 se presenta un resumen de las principales características de los sistemas geotérmicos de esta región, incluyendo los estimados de temperaturas máximas en el subsuelo.

###### 4.1.1. Flanco sur de la Península de Paria (IIIt45, 114, f222)

En esta región hay tres zonas con fuentes termales, a saber: Maraval, Qda. Seca y No Carlos. Cada una tiene características distintivas (fig. 57), que en forma resumida se exponen a continuación:

	t(c)m	C <sub>l</sub>	TSD	N <sub>a</sub>	K	S <sub>O4</sub>	C <sub>a</sub>	HCO <sub>3</sub>
Maraval	33.	333.	1505.	362.	10.	30.	312.	1390.
Qda. Seca	30.	2850.	9480.	3270.	279.	12.	320.	5420.
No Carlos	51.	1025.	4900.	1125.	190.	825.	560.	2200.

Para explicar estas diferencias, basta considerar las condiciones geológicas de cada lugar, ya que la fuente de Maraval fluye en las rocas metamórficas, mientras que las de Qda. Seca y No Carlos brotan del aluvión, en donde es muy posible que el agua caliente del reservorio que alimenta a las fuentes, este afectado por mezcla con agua dulce poco profunda procedente de la infiltración en las montañas al norte, y aguas salobres del acuífero aluvional cercano a la costa.

Los estimados de temperaturas en el subsuelo a partir de geotermómetros (tabla 5), se pueden resumir como sigue:

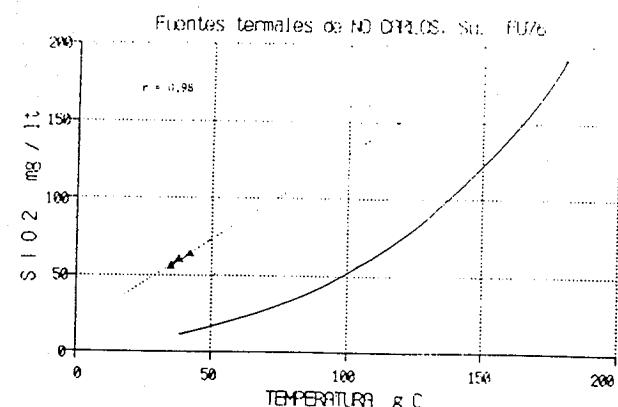
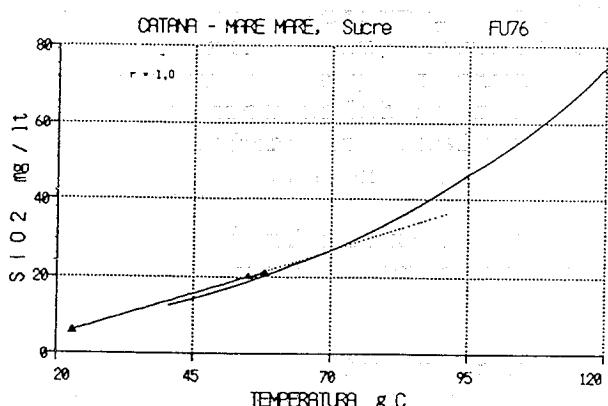
**Maraval.** Aquí se tiene que  $t(\text{alc}) = t(\text{cz})$ , y no hay evidencia de mezcla. Por consiguiente se estima que el acuífero o reservorio que alimenta los manantiales deben tener una temperatura mínima de 50-60°C.

**Qda. Seca y No Carlos.** Aquí  $t(\text{alc}) \gg t(\text{cz})$ , esto y ademas su ubicación, hace pensar que hay mezcla activa de diversos tipos de agua. En el caso de Qda. Seca como solo tenemos un análisis se hace imposible evaluar tan mezcla. En No Carlos se disponen de varios lo que permite estimar  $t(\text{wsmm})$ . Resumiendo,

TABLA 3. RESUMEN DE LOS SISTEMAS GEOTERMICOS DEL ESTADO SUCRE.

$t_{(cz)}$  no es apropiado por los mecanismos de mezcla;  $t_{(alc)} = 110-150^{\circ}\text{C}$  siendo este intervalo bastante conservador debido a la precipitación de  $\text{CaCO}_3$ . Para la evaluación de  $t_{(wsmm)}$  se ha tenido que utilizar solo las muestras de 1976, ya que en esa oportunidad se analizaron las aguas de varios manantiales, resultando que  $t_{(wsmm)} = 160-200^{\circ}\text{C}$ .

La fig. 58 muestra un modelo esquemático del posible sistema geotérmico. Notese que por dos vías diferentes se apunta a temperaturas mayores o cercanas a  $150^{\circ}\text{C}$ , haciendo que esta zona pueda ser considerada como de mucho interés para una prospección mas detallada, que debería incluir un nuevo muestreo de todos los manantiales de Ño Carlos y qda. Seca, en época de sequía para poder tener acceso a esta zona, que de lo contrario está generalmente anegada.



nombre	n	t(c) prom. (min.-max.)	t(geo) $t_{(cz)}$ $t_{(alc)}$ $t_{(bsmm)}$	TSD	pH	tipo de agua	
Maraval	1	32	50-60	-	1505	6,3	$\text{HC}_3 > \text{Cl} >> \text{SO}_4$ $\text{Na}+\text{K} = \text{Ca} >> \text{Mg}$
Qda. Seca - Ño Carlos	3	42(30-51)	110-150	150-200	6420	6,7	$\text{HC}_3 = \text{Cl} >> \text{SO}_4$ $\text{Na}+\text{K} >> \text{Ca} >> \text{Mg}$
Catana-El Tanque	3	34(28-40)			704	6,6	$\text{HC}_3 >> \text{Cl} >> \text{SO}_4$ $\text{Ca} > \text{Mg} >> \text{Na}+\text{K}$
Mare - Mare	2	55-58	60-70	70	2110	6,6	$\text{Cl} > \text{HC}_3 >> \text{SO}_4$ $\text{Na}+\text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}$
Algarrobito Santa Ana	7	25(24-26)	30-50	-	423	6,7	$\text{HC}_3 >> \text{SO}_4 > \text{Cl}$ $\text{Ca} >> \text{Na}+\text{K} > \text{Mg}$
Soda de Sabaneta	1	25	40-60	-	579	6,3	$\text{HC}_3 >> \text{Cl} > \text{SO}_4$ $\text{Ca} > \text{Na}+\text{K} > \text{Mg}$
Aguas Calientes	10	84(59-95)	230-250	290-320	2790	6,8	$\text{Cl} > \text{HC}_3 > \text{SO}_4$ $\text{Na}+\text{K} >> \text{Ca} >> \text{Mg}$
Rio de Janeiro	1	100	100-116	-	2960	9,5	$\text{Cl} >> \text{HC}_3 >> \text{SO}_4$ $\text{Na}+\text{K} >> \text{Ca} >> \text{Mg}$
Las Minas ácidas bicarbonatadas	5	61(34-91)	?	?	596	2,8	$\text{SO}_4 >> \text{Cl} = \text{HC}_3$ $\text{Ca} > \text{Mg} >> \text{Na}+\text{K}$
Mundo Nuevo bicarbonatadas ácidas sulfatadas	8	36(25-45)	30-80	130-140	248	6,6	$\text{HC}_3 >> \text{SO}_4 > \text{Cl}$ $\text{Ca} > \text{Mg} >> \text{Na}+\text{K}$
13	60(33-95)	?	?	552	2,6	$\text{SO}_4 >> \text{Cl} = \text{HC}_3$ $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na}+\text{K}$	
Rio Casanay	2	32-37	35-55	-	371	7,0	$\text{HC}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ $\text{Mg} = \text{Ca} >> \text{Na}+\text{K}$
Pantoño	17	31(25-37)	70-100	-	526	6,8	$\text{HC}_3 > \text{Cl} >> \text{SO}_4$ $\text{Na}+\text{K} = \text{Ca} > \text{Mg}$
Santa Rosa- Putucual	3	38(28-47)	40-55	130-145	1120	6,8	$\text{HC}_3 >> \text{Cl} > \text{SO}_4$ $\text{Na}+\text{K} >> \text{Mg} > \text{Ca}$
Costa sur del golfo de Cariaco	13	42(33-60)	40-60	120	1493	6,7	$\text{HC}_3 > \text{Cl} >> \text{SO}_4$ $\text{Na}+\text{K} >> \text{Mg} > \text{Ca}$
Santa Cruz, Santa María	1	27	28	-	270	7,0	$\text{HC}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$ $\text{Na}+\text{K} >> \text{Mg} > \text{Ca}$
Los Ipures, Cumana	5	37(31-47)	55-85	120	2638	7,3	$\text{HC}_3 > \text{Cl} >> \text{SO}_4$ $\text{Na}+\text{K} >> \text{Mg} > \text{Ca}$
El Tacal, Mochima	2	25-27	30-60	-	462	7,0	$\text{SO}_4 = \text{HC}_3 = \text{Cl}$ $\text{Ca} >> \text{Mg} > \text{Na}+\text{K}$
Araya	1	34	85	-	15.280	7,1	$\text{Cl} >> \text{HC}_3 > \text{SO}_4$ $\text{Na}+\text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}$

TABLA 4

Resumen de información de geotermómetros de las fuentes termales del flanco sur de la Península de Paria

A) Maraval

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca	TSD
Su.1 1	21 16	340 326	31 32	65 55	58 47	1780 1230
Prom.	18	333	32	60	52	1505

B) Quebrada Seca-No Carlos

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca-Mg	TSD
Su.2 4 5	12 13 55	2850 1050 1000	30 51 45	44 47 106	119 166 154	9480 4780 5010
Prom.	26	1633	42	65	146	6423

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca	TSD
Su.4.f 5 af 5 bf 5 cf 5 dw	54 60 56 64 43	1410 1900 1810 1805 1250	50 38 35 42 50	105 110 107 113 95	111 90 79 103 155	4170 4550 4680 4620 4110
Prom.	55	1635	43	106	108	4426

FIG. 57. DIAGRAMA DE PIPER

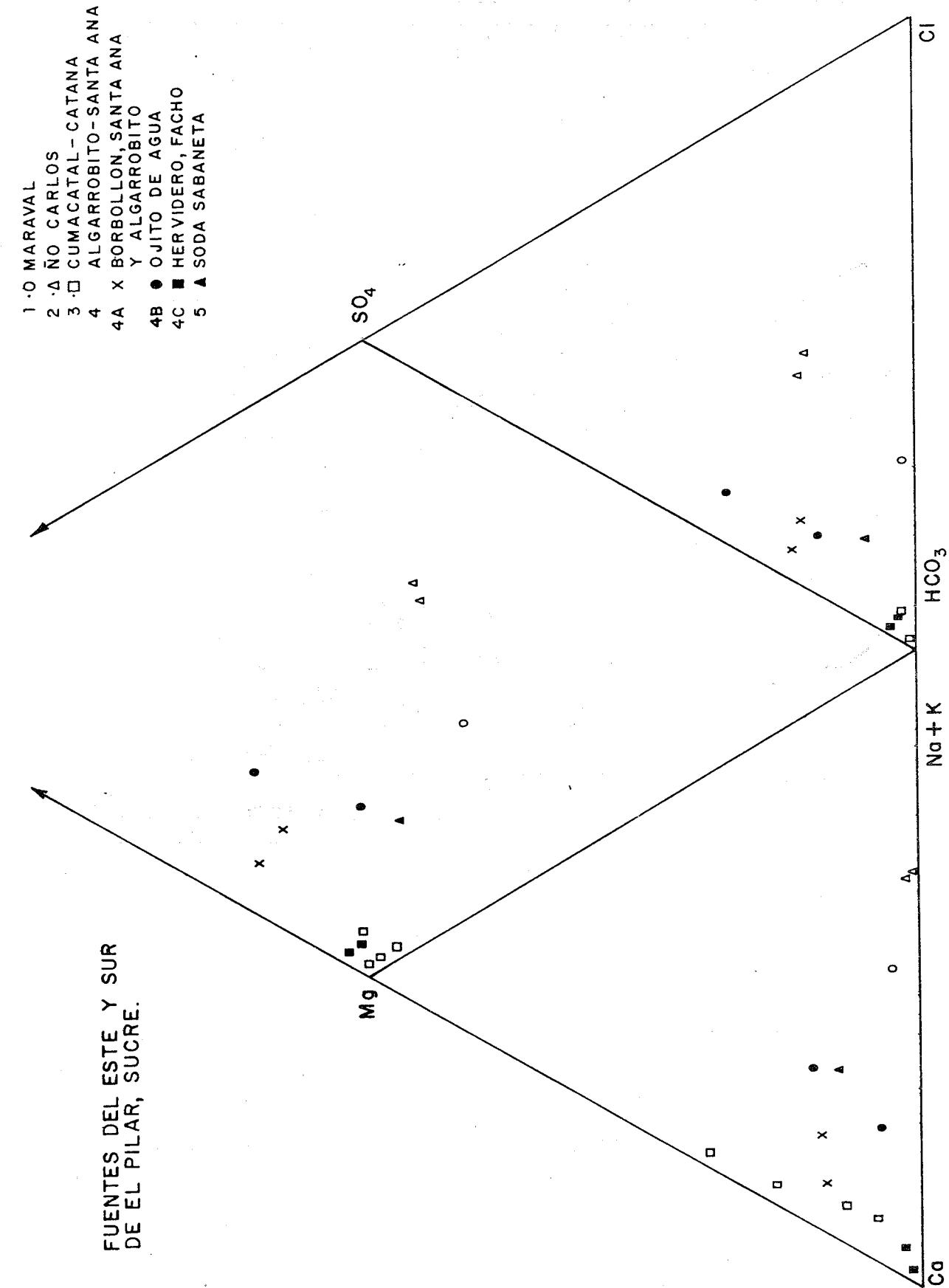
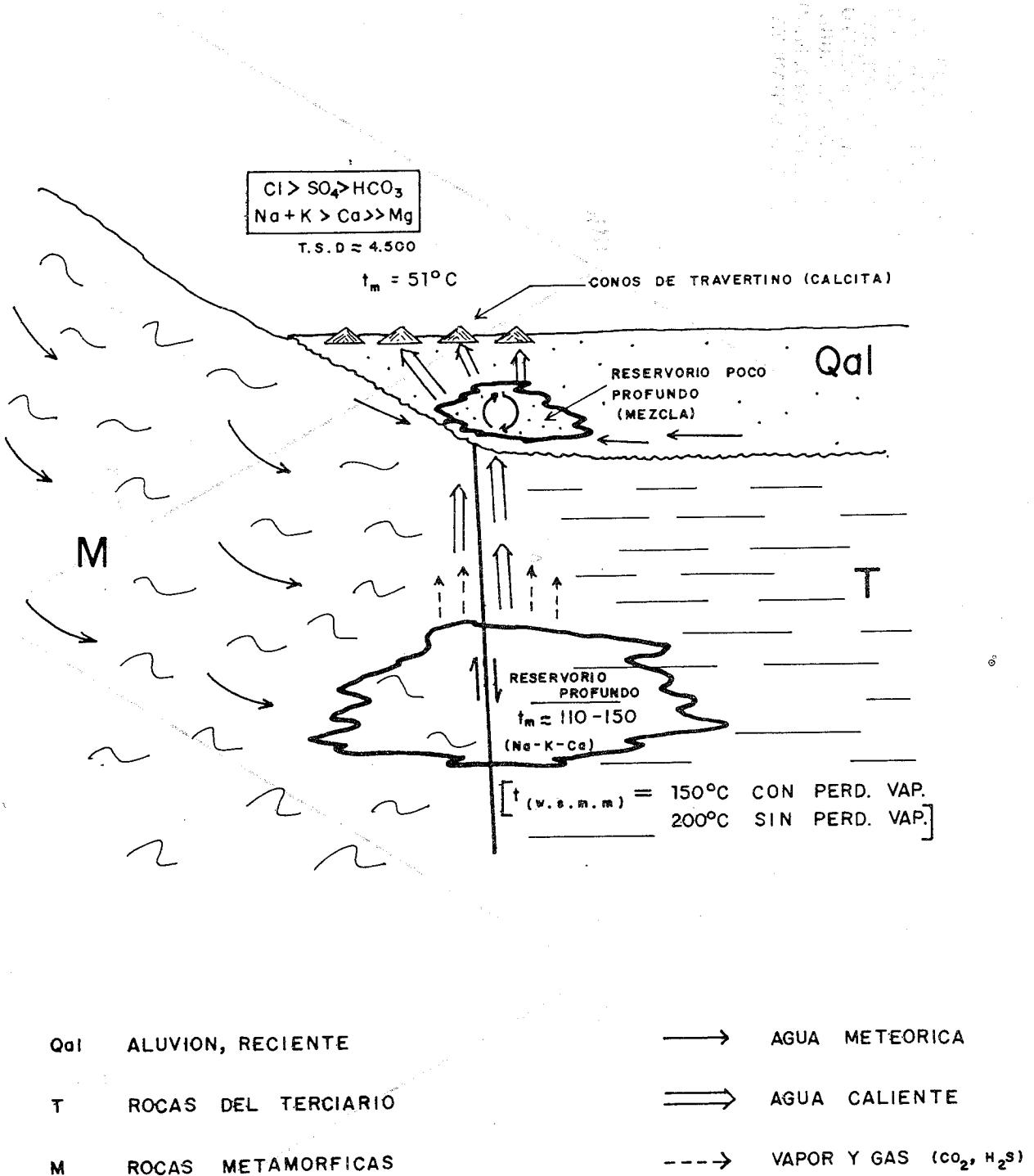


FIG. 58. MODELO HIDROLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES TERMALES DE NO CARLOS, SUCRE.



#### 4.1.2. Región sur de El Pilar. (IIIt46, 117, f224).

Las características físico-químicas de las manifestaciones geotérmicas de esta extensa región permiten su agrupación como sigue (fig. 57):

- Mare-Mare, Catana (El Tanque), Chaguaramitas.
- Guarimán (río Guaraguara).
- Algarrobito - Santa Ana.
  - Borbollón de Santa Ana.
  - Ojito de Agua y Hervidero de Facho.
- Soda de Sabaneta.

En las fuentes de Mare-Mare el alto contenido de Cl (750) y TSD (2100), sugieren la participación de un proceso de mezcla con agua marina, y de hecho la fuente brota en una zona anegadiza rodeada de caños de agua salobre. A pesar de las diferencias químicas entre los manantiales de Catana y Mare-Mare, los estimados de geotermómetros son bastante consistentes entre sí, con valores como sigue:  $t(\text{alc}) = t(\text{cz}) = t(\text{wsmm}) = 60-70^\circ\text{C}$ . La fig. 59 presenta un modelo hidrológico esquemático para este grupo de fuentes, según el cual postulamos la existencia de un reservorio profundo común para explicar las dos localidades, y procesos de mezcla superficiales en el caso de Mare-Mare. También se señala la posible vía de ascenso de los hidrocarburos que brotan en la zona (según SPANGLER, 1954). El agua caliente profunda posiblemente sea del tipo  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ , por circular a través de la Formación El Cantil.

Hacia el oeste en la zona de Guarimán - río Guaraguara los estimados a partir de los geotermómetros disminuyen, siendo  $t(\text{alc}) = t(\text{cz}) = 40-50^\circ\text{C}$ . Las aguas son muy sulfurosas, de lo cual se puede deducir la influencia de rocas del Grupo Guayuta en el subsuelo.

Aun más al N-W en el área de Algarrobito - Santa Ana, las aguas generalmente son sulfurosas y frias, donde  $t(\text{alc}) = t(\text{cz}) = 30-50^\circ\text{C}$ . Este grupo de manantiales son de relativa poca importancia geotérmica. Aquí parece haber una fuerte influencia de las aguas de infiltración cárstica, que se produce en el cerro El Pato.

La fuente conocida como el Borbollón de Santa Ana (Su.24), es muy característica por la fuerte emanación de  $\text{CO}_2$ , que le da un aspecto de hervor. Los análisis disponibles de ella, tomados en las estaciones de sequía y de lluvia, son muy diferentes como se aprecia en la fig. 60. Esto sugiere la mezcla de dos tipos de agua: una relativamente profunda con alto TSD; con otra más superficial, de circulación más rápida, quizás de origen cárstico y bajo TSD. La temperatura de ambos tipos sería aproximadamente igual.

A un par de kilómetros al sur de El Pilar, se localiza un pequeño manantial conocido como La Soda de Sabaneta, cuyos estimados de temperatura son bajos:  $t(\text{alc}) = t(\text{cz}) = 40-60^\circ\text{C}$ .

FIG. 59. MODELO GEOLOGICO-HIDROLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES TERMALES DE CATANA (EL TANQUE) Y MARE MARE, Su. (AMBAS CON HIDROCARBUROS)

TABLA 5

Resumen de información de geotermómetros de las fuentes termales de Cumacatal-Catana, Mare Mare y Algarrobito-Santa Ana, Sur y Suroeste de El Pilar, Estado Sucre

A) Catana-Cumacatal

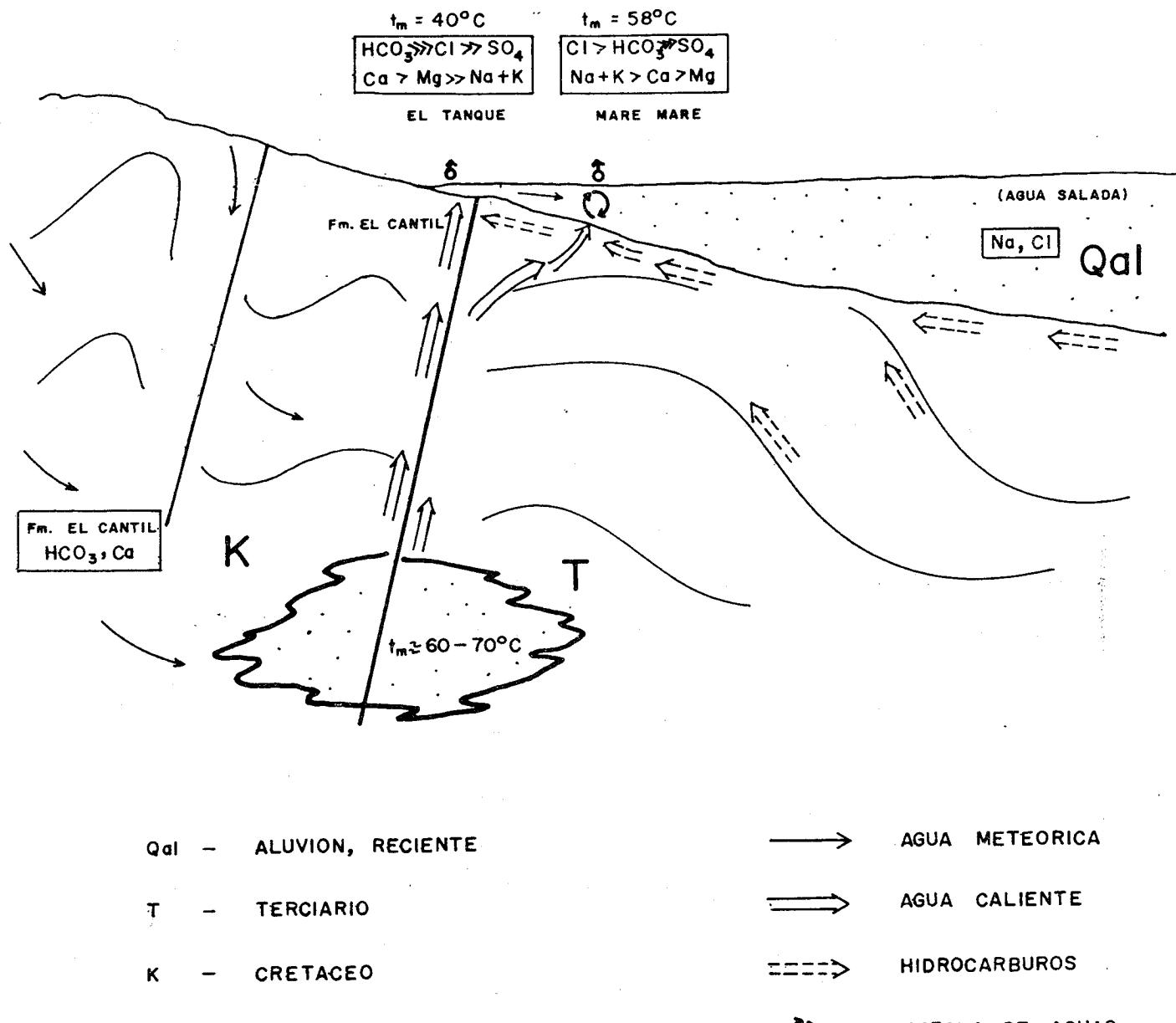
Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca-Mg	TSD
Su.6.A	26	8	40	74	35	1000
6.B	25	8	38	72	66	922
96	11	9	30	41	47	626
97	13	9	28	47	-	268
Prom.	18	8	34	58	49	704

B) Mare Mare

UCV 32	20	760	55	63	67	2140
UCV-33	21	740	58	65	76	2080
Prom.	21	75	57	64	72	2110

C) Algarrobito-Santa Ana

Su.24	6	28	24	19	31	440
25	6	12	25	19	25	344
27B	15	18	26	52	37	382
27D	14	18	26	50	37	306
98	11	11	26	41	-	293
99	24	12	25	70	33	770
Prom.	13	17	25	42	33	423



#### 4.1.3. Región de Aguas Calientes - Las Minas - Mundo Nuevo.

Fig. 60. Comparación entre los análisis químicos de la fuente "Borbollón de Santa Ana", Cuamacatal, sur de El Pilar.

rayas inclinadas: análisis de una muestra tomada en sequía, 1976.

punteado: análisis de una muestra tomada en periodo de lluvia, 1981.

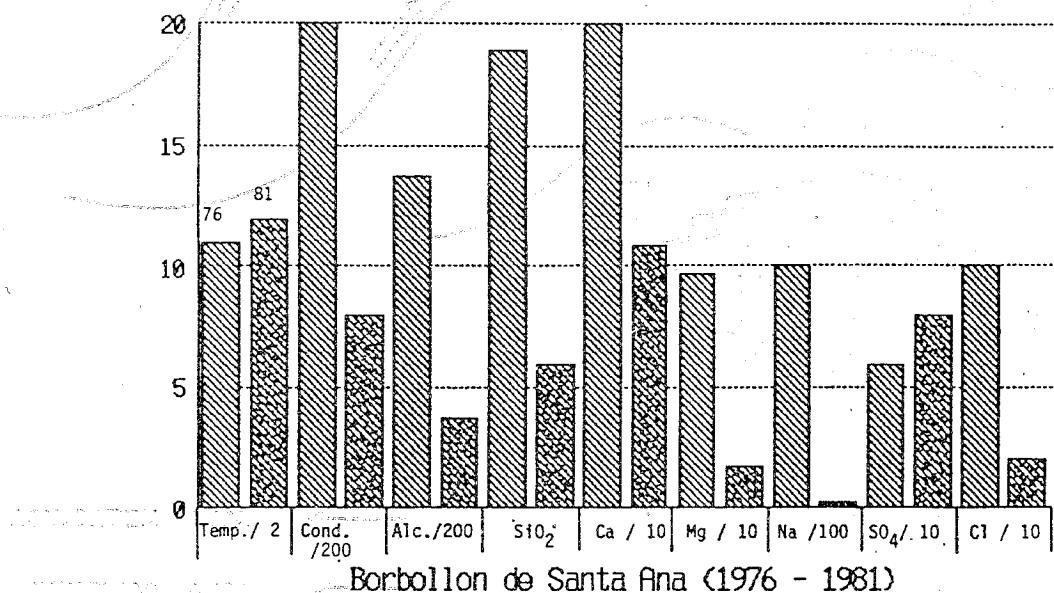
Esta región es la de mayor actividad geotérmica de todo el país, con la mayor densidad y diversidad de manifestaciones geotérmicas, variables desde tibias a hirvientes, fumarolas y azufrales. Aquí es donde están cifradas las mayores perspectivas para el aprovechamiento de la energía geotérmica en generación de electricidad. Por esa razón se ha iniciado un nuevo programa de evaluación, por parte de CADAFE y el MEM.

Las manifestaciones de esta región se pueden agrupar, en razón de su ubicación y características, en tres áreas: Aguas calientes, Las Minas y Mundo Nuevo. Las dos primeras son adyacentes, pero las de Aguas Calientes están en una cota más baja, cerca del fondo del valle del río Chaguaramas, mientras que Las Minas están más al norte y en una cota mayor.

Por el análisis de las características físico-químicas de las aguas de los manantiales, estas se pueden clasificar en tres grupos principales:

tipo	pH	temp.	ubicación
Cl-Na	neutro-alc.	muy calientes	Aguas Calientes (Su. 7-15)
SO <sub>4</sub> -Ca	muy ácidas	muy calientes	Las Minas (Su. 17, 18, 29) y Sector central Mundo Nuevo
HCO <sub>3</sub> -Ca	neutro-alc.	friás a tibias	La Mina Alemana (Su. 16) y sectores este, norte y oeste de Mundo Nuevo.

La fig. 61 presenta el diagrama de Piper para las aguas de esta región, donde se nota claramente la anterior clasificación, y a continuación se presenta un análisis mas detallado.



*Área de Aguas Calientes. (IIIt48, 120, f224)*

Las fuentes termales del área de Aguas Calientes pueden dividirse en cuatro tipos, que presentan características propias y distintivas, a saber:

- Quebrada Agua Caliente y Agua Caliente Chiquita (Su.7-13)
- Agua Caliente de Juán Gregorio (Su.28).
- Mina de Río de Janeiro - El Palmar (Su.15).
- Los Chirriaderos (Su. 14).

En la fig. 61 puede observarse la diferencia entre estos tipos, de los cuales el primero muestra una gran homogeneidad. Todas las aguas son del tipo Cl-Na, pero con variaciones relativas y cuantitativas entre los iones mayoritarios.

La tabla 7 presenta un resumen de los resultados obtenidos de la aplicación de los geotermómetros químicos, observándose que  $t(\text{alc}) > t(\text{SiO}_2)$ , lo que puede interpretarse por cierto grado de mezcla con agua fría poco profunda. La evaluación de la  $t(\text{wsmm})$  no da buenos resultados (fig. IIIf265), ya que los puntos tienen muy poca dispersión y caen muy cerca de la curva de solubilidad del cuarzo.

El valor de  $t(\text{alc})$  calculado es de 250-280 °C, pero preferimos utilizar un valor más conservador de 230-250 °C, para corregir en cierto grado el efecto de la precipitación de calcita.

Debido a que cuatro fuentes del área están en ebullición o con temperaturas muy cercanas al punto de ebullición (observadas en época de sequía), se procedió a aplicar el modelo de mezcla de fuentes hirviendo (bsmm). La aplicación en este caso no es del todo ideal, pero se cumple con lo establecido de utilizar fuentes de alto caudal (100-200 l/min según WJEC, 1982b), pero se consideró su aplicación debido a que la temperatura en tres de ellas en el momento de la recolección de muestras, era un par de grados inferior al punto de ebullición atmosférica. La fig. 63 presenta el gráfico Cl-Entalpía, estimándose que el agua en un reservorio caliente profundo pueda tener una entalpía entre 300 y 340 cal/g, equivalente a una temperatura entre 280 y 320 °C. Con toda esta información interpretamos la existencia de: (1) un reservorio profundo con temperaturas quizás superiores a 300 °C; (2) un reservorio intermedio donde existe reequilibrio Na-K-Ca, que permite la estimación de  $t(\text{alc}) = 230-250$  °C; y (3) en niveles muy superficiales mezcla con aguas frías.

FIG. 61. DIAGRAMA DE PIPER

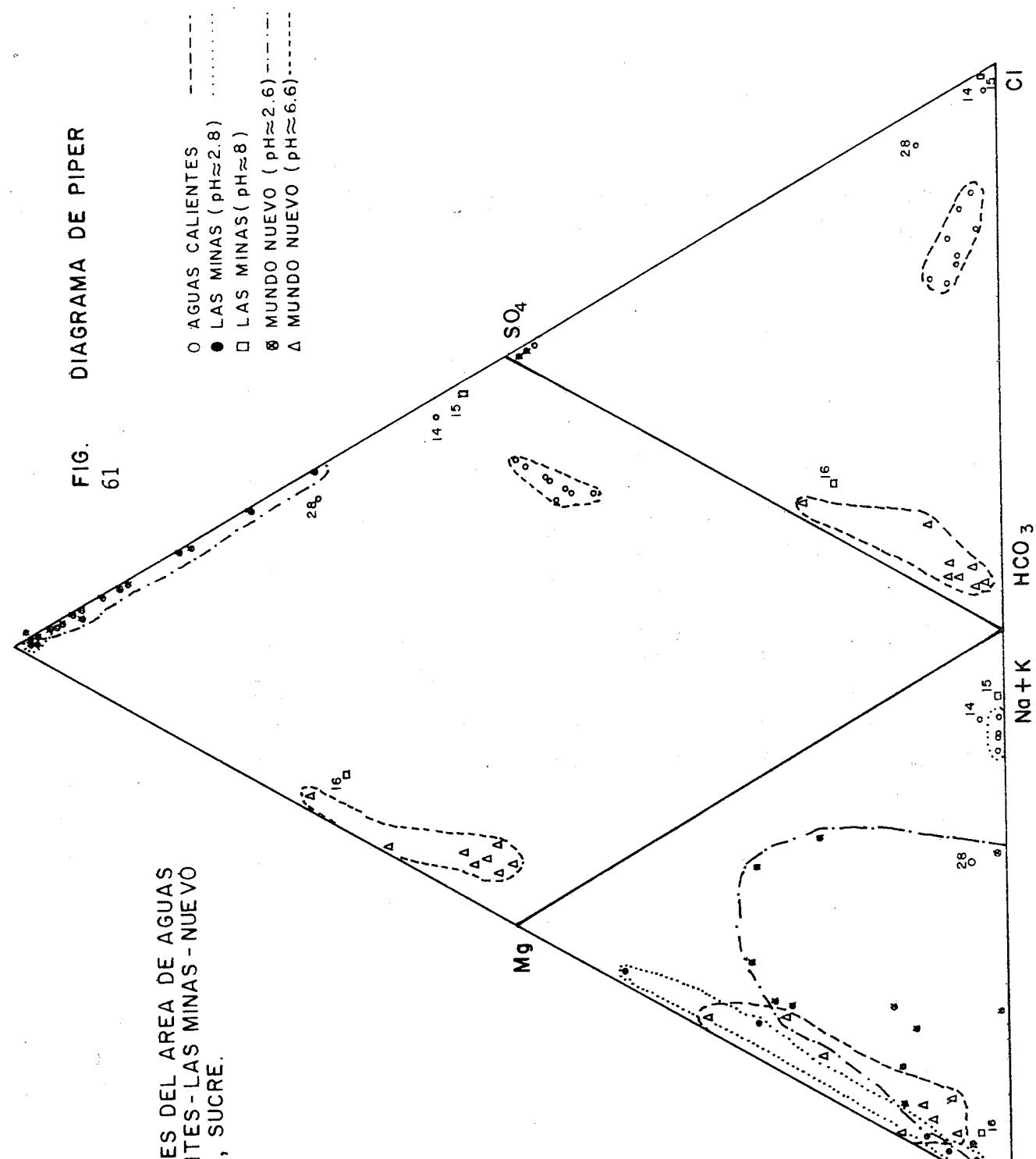
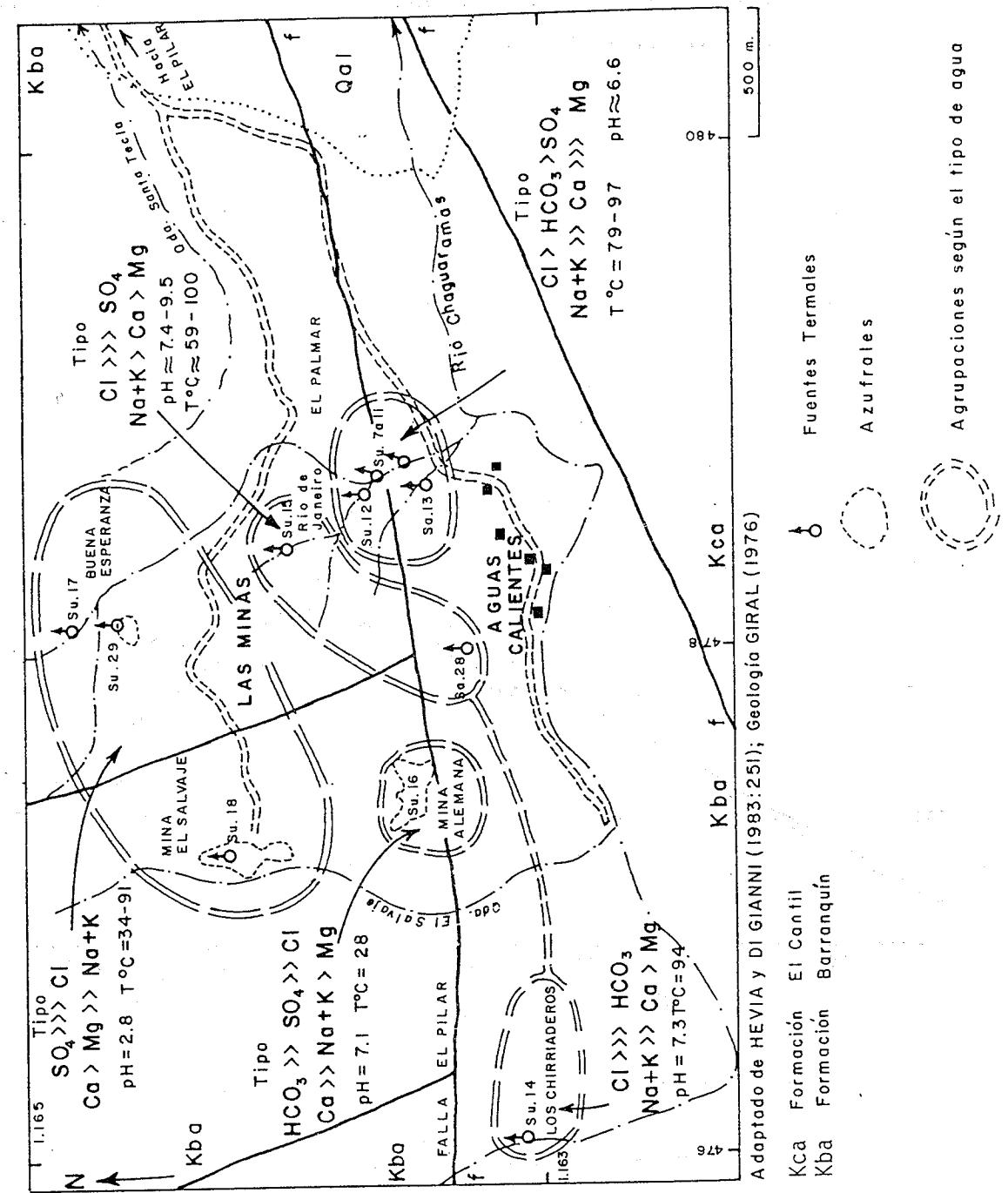


TABLA 6

Resumen de Información de geotermómetros de las fuentes termales de Aguas Calientes, oeste El Pilar

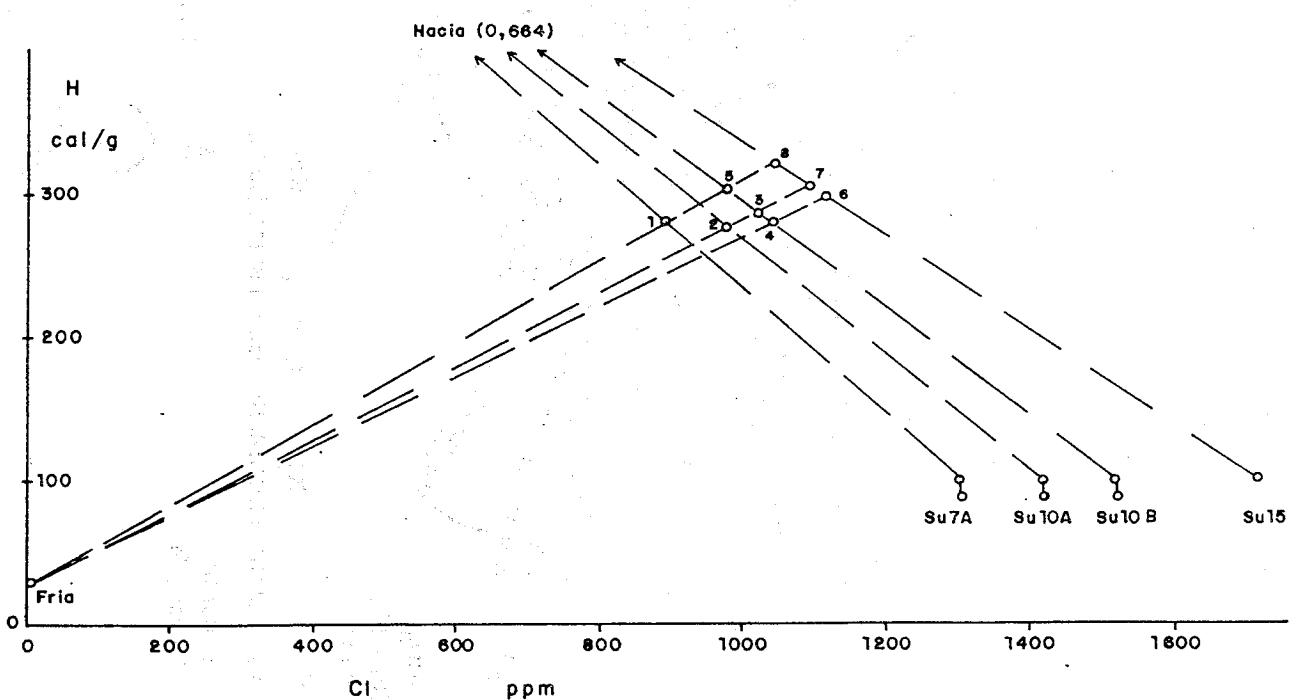
Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz.	TNa-K-Ca-Mg	TSD
Su. 7A	159	1300	93	158	279	3270
7B	155	950	79	163	246	2780
8	40	1000	84	92	248	2810
9	34	1050	85	85	251	2850
10A	-	1420	92	--	275	3480
10B	33	1520	89	83	279	3450
11	34	800	90	85	277	2480
12	46	900	84	98	287	2850
28	8	814	59	29	283	1720
14	45	1220	94	97	( 74)	2210
Prom.	55	1097	84	89	269	2790
Sector Minas de Río de Janeiro						
Su. 15	48	1715	100	101	116	2960

FIG. 62 MAPA GEOLOGICO, DE UBICACION Y DISTRIBUCION DE TIPOS DE AGUAS DE LAS MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DEL AREA DE LAS MINAS - AGUAS CALIENTES, ESTADO SUCRE.



*Area de Las Minas.* (IIIt49, 123, f225).

FIG. MODELO DE FUENTES DE AGUAS HIRVIENTES PARA  
63 EL SISTEMA DE AGUAS CALIENTES, OESTE DE EL  
PILAR, EDO. SUCRE



1,2,4 ACUIFEROS INTERMEDIOS T<sub>Na-k-Ca</sub>  
3,5 PROYECCION A Cl de Su.10B H<sub>3</sub> = 208 H<sub>5</sub> = 302  
6,7,8 " " Cl " Su. 15 H<sub>6</sub> = 295 H<sub>7</sub> = 310 H<sub>8</sub> = 340

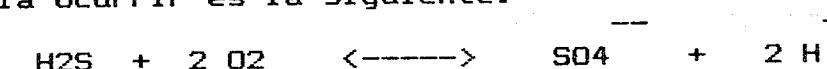
Dentro de esta área se consideran las llamadas *Minas* o azufrales de El Salvaje, Buena Esperanza y Alemana, ya que la de Río de Janeiro en El Palmar, se incluyó en el grupo anterior.

La *mina Alemana* es un azufral inactivo en donde solo brota un pequeño manantial frío que representa esencialmente agua meteórica que nunca ha estado muy caliente.

Las minas *El Salvaje* y *Buena Esperanza* están caracterizadas por sus aguas del tipo sulfatadas cárnicas y muy ácidas (fig. 62). En este tipo de agua es casi imposible la aplicación de geotermómetros químicos, ya que tienen un escaso contenido de solutos (a excepción del SO<sub>4</sub>). Estas aguas son fundamentalmente aguas meteóricas superficiales de baja salinidad, calentadas por vapor de agua y gases en una zona localmente dominada por vapor, quizás también haya un bajo aporte de agua producida por la condensación del vapor. Esta zona dominada por vapor posiblemente se encuentre por encima del nivel de la mesa de agua regional. Las características de esta área se repiten en varios ejemplos a nivel mundial, donde las aguas sulfatadas ácidas se localizan en niveles topográficamente mas altos, mientras que a corta distancia en áreas mas bajas predominan aguas cloruradas, como es el caso de Aguas Calientes. El ejemplo de Las Minas - Aguas Calientes es semejante al de El Coso, en California (FOURNIER et al., 1981).

La fig. IIIf265 muestra el diagrama t-SiO<sub>2</sub>, donde se nota que la mayor parte de las muestras caen por debajo o en la curva de solubilidad del cuarzo, lo cual atribuimos a la misma razón de la ebullición, por lo que el agua líquida formada por la condensación del vapor prácticamente no contiene SiO<sub>2</sub>, y la baja cantidad determinada puede deberse a una procedencia meteórica.

En referencia al alto contenido de SO<sub>4</sub>, es probable que se deba a la oxidación del H<sub>2</sub>S, que conjuntamente con CO<sub>2</sub> y vapor de agua proceden del reservorio caliente profundo. La reacción que podría ocurrir es la siguiente:



que explicaría la alta concentración del SO<sub>4</sub> y la acidez del agua. Interesa hacer notar, que los manantiales de los azufrales de El Salvaje y Buena Esperanza son de carácter intermitente, ya que en época de sequía están casi secos, mientras que aparecen a pocas horas de las lluvias, y luego desaparecen con la misma rapidez. Esto refuerza la idea de que dicha agua procede de un ciclo muy superficial, calentada por las emanaciones de gases (CO<sub>2</sub>, vapor de agua y H<sub>2</sub>S). Este último tipo de emanaciones si son permanentes aun cuando no haya agua, dando lugar a continuos ruidos (Chirriaderos) a su paso por las rocas fisuradas.

**Interpretaciones sobre las fuentes Su.28 y Su.15.**

El análisis químico de la fuente termal Su.28, *Agua Caliente de Juán Gregorio*, ha sido comparado con las composiciones de aguas adyacentes, pudiéndose deducir que se trata de una mezcla con cerca de:

60-70% de un agua del tipo Su.10B (Aguas Calientes), con  
30-40% de un agua del tipo Su.16 (Mina Alemana).

La composición de la manifestación Su.15 (Río de Janeiro), tiene las mas altas concentraciones de Cl, Na y TSD de toda la región, lo cual está acorde con su característica de ser una fuente vigorosamente hirviente, que permite una concentración evaporativa. Esta es la fuente con mas bajo contenido de HCO<sub>3</sub> y SO<sub>4</sub>.

**El sistema geotérmico Las Minas - Aguas Calientes.**

La interpretación conjunta de estas áreas adyacentes entre sí, nos permite postular un posible modelo geotérmico (fig. 64), donde se reunen las consideraciones ya señaladas para cada caso. Ahí se indican los valores estimados por los métodos de geotermómetros, las características de tipos de aguas y posibles esquemas de circulación del agua y sus mezclas.

El citado modelo es una aproximación, que necesita ser probada, pero suficientemente halagador como para tomar la decisión de hacer una o mas perforaciones exploratorias profundas o medianamente profundas. Examinando casos históricos de campos geotérmicos hoy en día activos en la generación de electricidad, se ve que en muchos casos se perforó (y se tuvo éxito), en lugares con mucha menos información y menos prometedora que la de esta zona.

**TABLA 7**

Resumen de información de geotermómetros de las fuentes termales de las Minas, oeste de El Pilar

**I. Aguas ácidas**

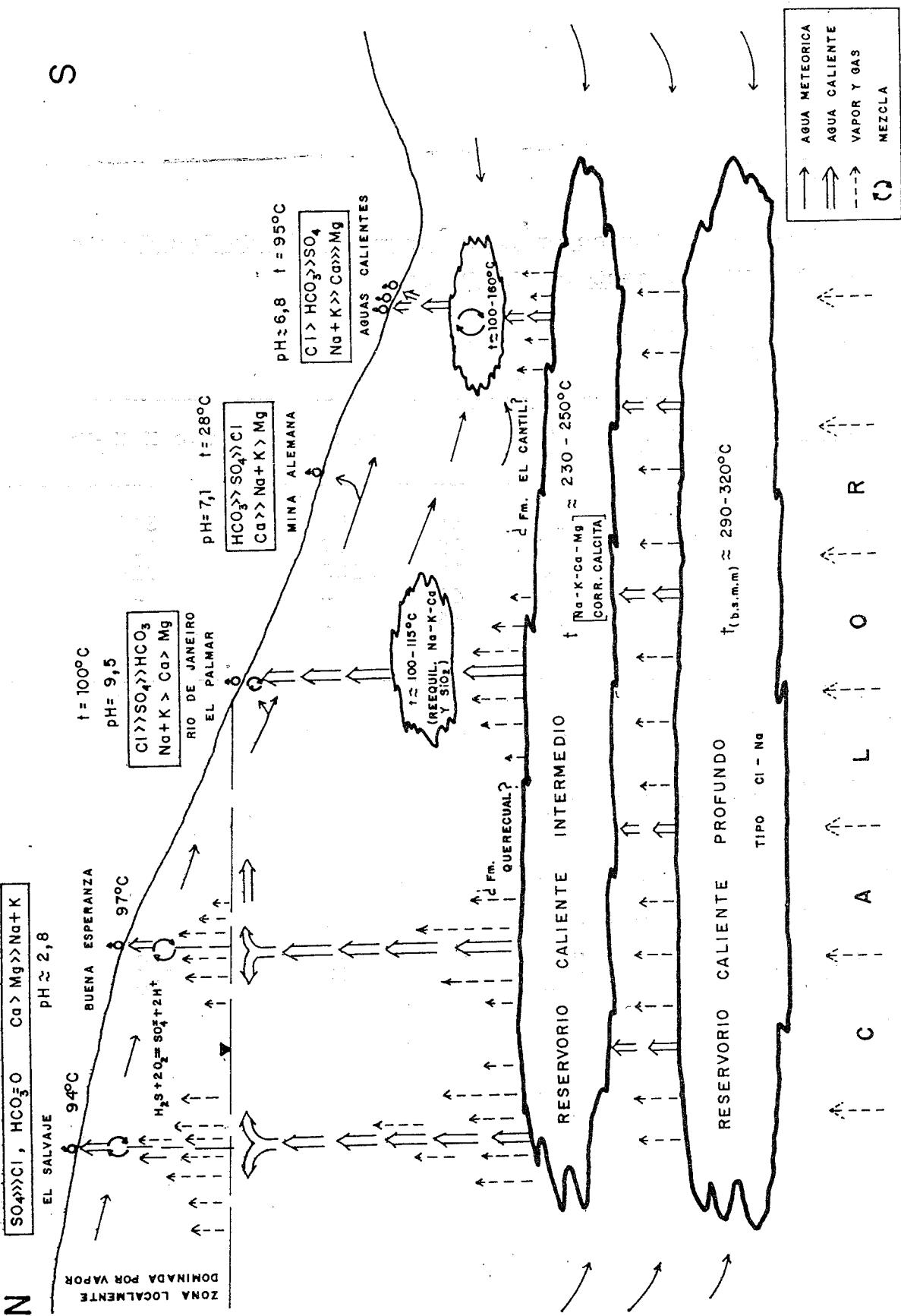
Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca-Mg	TSD
Su.29	17	19	34	57	34*	1150
17	28	10	86	77	11	564
18	57	4	91	108	91*	591
18A	1	9	41	-	-	189
18B	6	15	56	19	-	485
Prom.	21	11	61	-	-	596

\* Corrección por Mg.

**II. Aguas alcalinas**

Su.15	48	1715	100	101	116	2960
16	16	6	28	55	16	164

FIG. 64. MODELO ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA GEOTÉRMICO LAS MINAS-AGUAS CALIENTES, SU.



Área de Mundo Nuevo. (IIIt51, 128, f226, 264).

El área de Mundo Nuevo está a 6 Km al oeste de Las Minas y Aguas Calientes, y es otra zona con gran densidad de manifestaciones geotérmicas (fig. 65), que clasificamos a continuación:

- Manantiales de aguas  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ , poco calientes.
- Manantiales de aguas  $\text{SO}_4\text{-Ca}$ , muy ácidas, poco calientes a hirviéntes, asociados a azufrales (incluye una fumarola).
- Azufrales con emisión de gases calientes (hasta 95 °C).
- Azufrales inactivos.

La aplicación de los geotermómetros químicos para esta área, está sujeta a las mismas consideraciones hechas para la zona de Las Minas, es decir que se aplicarán solo a las aguas bicarbonatadas (tabla 9). Siendo los resultados los siguientes:

$$t(\text{alc}) = 25-42^\circ\text{C}, \bar{t} = 21^\circ\text{C}; t(\text{SiO}_2) = 30-100^\circ\text{C}, \bar{t} = 61^\circ\text{C},$$

y en el gráfico  $\text{SiO}_2$  vs.  $T$  (fig. IIIf264) se nota que exceptuando a las muestras Su.53 y 83, hay una fuerte correlación ( $r=0,92$ ), que permite estimar  $t(\text{wsmm}) = 130-140^\circ\text{C}$ . Aquí cabe preguntarse porque ha de exceptuarse a dichas muestras, y aun cuando no hay una razón especialmente importante, se nota que son relativamente anómalas con respecto al resto del grupo: son las que presentan el mayor contenido de  $\text{SiO}_2$  (casi el doble), la Su.53 tiene el mayor contenido de Ca, Mg y  $\text{HCO}_3$ , mientras que la Su.83 presenta la mayor concentración en K, Cl y F.

Con toda esta información en conjunto, en la fig. 66 presentamos un modelo esquemático del sistema geotérmico de Mundo Nuevo, según el cual se postula un reservorio con una temperatura entre  $130-140^\circ\text{C}$  (nos parece una cifra conservadoramente baja), y en el ascenso de los fluidos hasta la superficie pueden seguir dos caminos diferentes: (1) mezclándose con aguas subterráneas más frias, quizás con suficiente tiempo de residencia para permitir el reequilibrio agua-roca, y formarían en la superficie las fuentes bicarbonatadas; (2) otra parte de los fluidos llegarían a una parte donde la mesa de agua está deprimida, generando en ella una zona localmente dominada por vapor [ahí predominan las emanaciones de gases (vapor,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$ )], generando aguas sulfatadas ácidas. Como los manantiales de esta parte son de bajo caudal, asumimos que son aguas subterráneas poco profundas calentadas localmente en la zona de vapor.

TABLA 8

## Resumen de información de geotermómetros de las fuentes termales de Mundo Nuevo, Estado Sucre

## I. Tipo bicarbonatadas

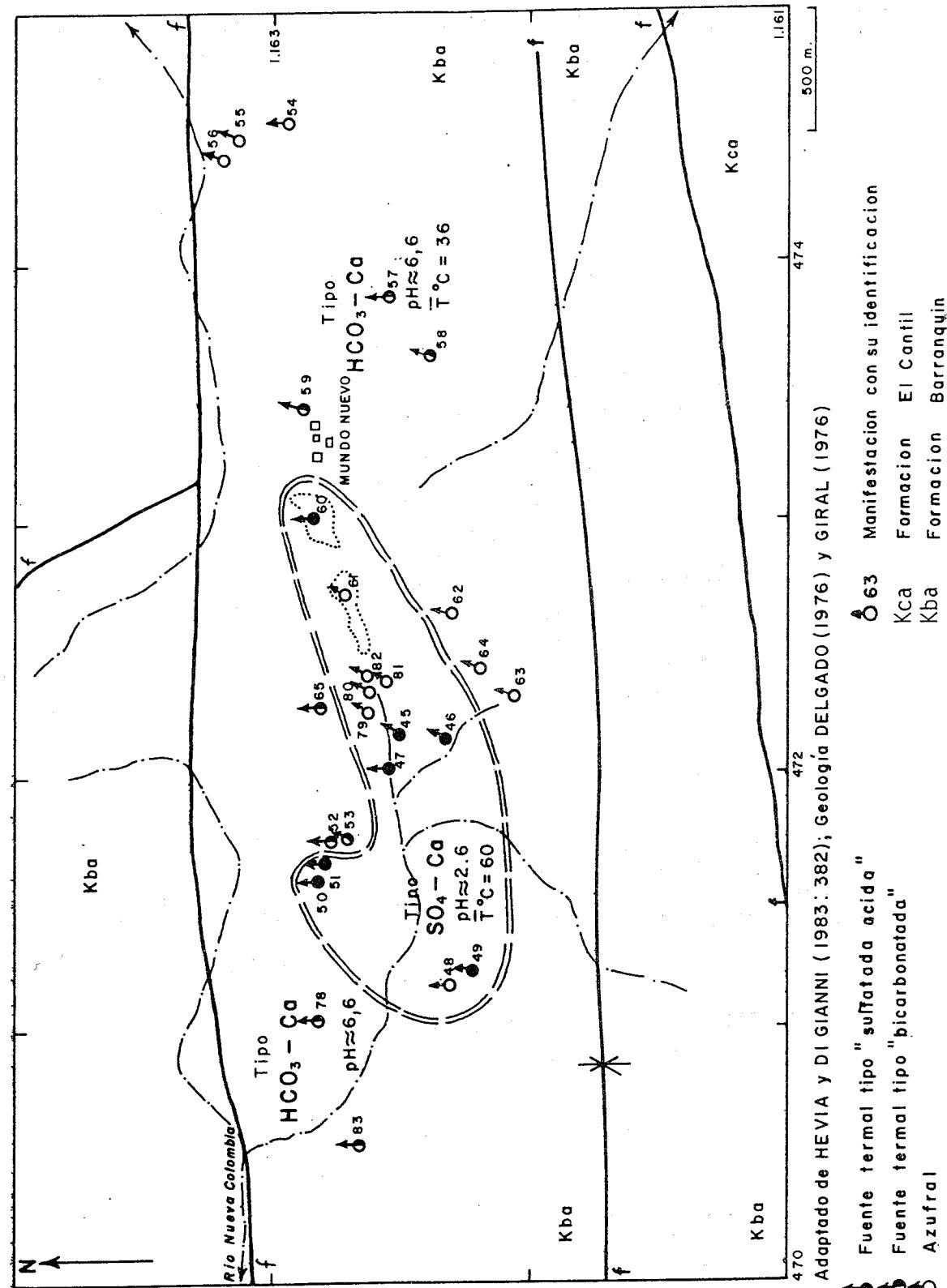
Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz.	TNa-K-Ca-Mg	TSD
Su.57	8	12	29	29	-	169
58	8	8	25	29	23	280
59	15	9	33	52	24	201
65	12	5	37	44	13	186
52	26	8	45	74	16	206
53	44	9	42	96	42*	495
78	19	9	42	63	13	189
83	50	12	35	102	13	255
Prom.	22	9	36	61	21	248

## II. Tipo sulfatadas

60A	4	4	34	5	21	218
60B	10	4	34	37	34	118
45A	15	4	90	52	-	776
45B	18	4	72	59	-	226
45C	19	3	39	61	-	174
46A	9	7	95	33	-	433
46B	7	6	80	24	-	246
47	10	3	45	37	-	117
49A	70	7	85	118	-	1790
49B	24	17	62	70	-	1650
50A	30	40	30	79	30*	399
50C	33	5	46	83	46*	472
51	10	8	71	37	71*	551
Prom.	20	9	60	53	-	552

(\*) Corrección por Mg.

FIG. 65. MAPA DE UBICACION DE MANIFESTACIONES GEOTERMICAS Y GEOLOGICO DEL AREA DE MUNDO NUEVO, ESTADO SUCRE.



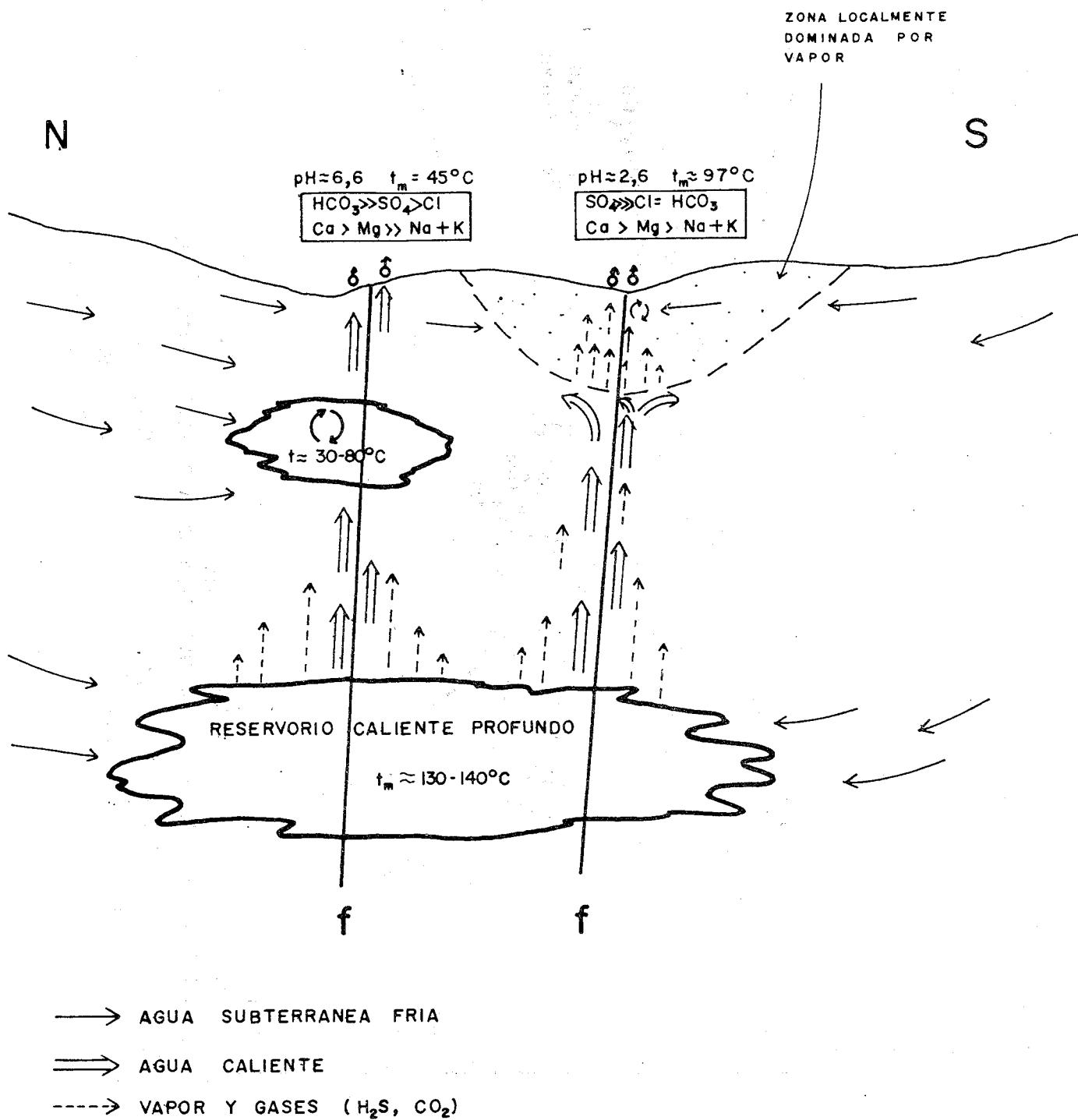
Adaptado de HEVIA y DI GIANNI (1983: 382); Geología DELGADO (1976) y GIRAL (1976).

Fuente termal tipo "sulfatada acida"

Fuente termal tipo "bicarbonatada"

Azufra I

FIG. 66. MODELO ESQUEMATICO DEL SISTEMA GEOTERMICO DE MUNDO NUEVO, Su.



Posibles causas de las altas concentraciones de compuestos de azufre,  $CO_2$  y Ca.

Entre las características químicas distintivas de las manifestaciones geotérmicas de la región de Las Minas - Mundo Nuevo, destacan:

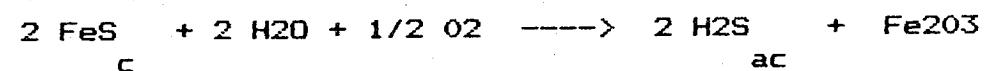
- Las fuertes emisiones de gases (ricos en  $CO_2$ ).
- Extensos depósitos de  $CaCO_3$  en Aguas Calientes.
- Fuerte olor a  $H_2S$  en la mayoría de las manifestaciones.
- Concentración muy alta de  $SO_4$  en determinadas fuentes.
- Alta concentración de cristales de azufre en azufrales.

Estas características nos permiten postular las siguientes ideas para su explicación:

En primer lugar, las emisiones de gases donde predomina el  $CO_2$  (>80%), a nivel mundial esta asociado a zonas de bordes de placas (BARNES *et al.*, 1978), debido fundamentalmente a procesos profundos de degasificación de rocas carbonáticas, por causa de las altas temperaturas en el subsuelo y efectos metamórficos asociados. Quizás en nuestro caso tengamos actuando un proceso similar, combinado con efectos tectónicos que facilitan el ascenso de los gases.

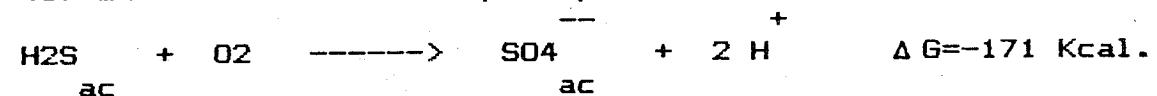
La alta concentración de Ca puede explicarse por la circulación del agua subterránea por formaciones calcáreas. En este caso con bastante seguridad debe haber influencia de la Formación El Cantil, la cual aflora a tan solo 1 Km al sur de Aguas Calientes (fig. 62), conjuntamente puede haber influencia de las rocas calcáreas del Grupo Guayuta.

El contenido alto de compuestos de azufre, preferimos explicarlos con la posible existencia de rocas de la Formación Querecual (Grupo Guayuta), cuya litología se caracteriza por calizas y lutitas negras generalmente ricas en pirita. Este último mineral en una primera etapa pudiera sufrir la siguiente reacción o una equivalente:

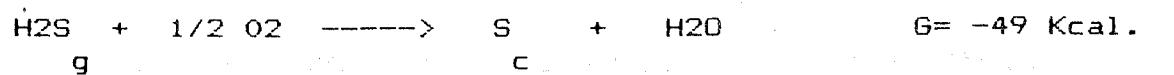


Posteriormente el  $H_2S$  pudiera oxidarse:

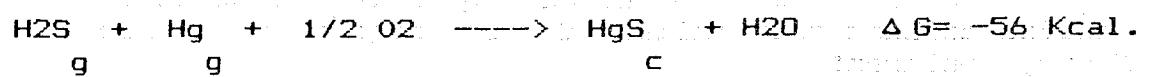
(1) En el medio acuoso para producir  $SO_4$ :



(2) En un medio gaseoso, como en una zona dominada por vapor, por sublimación se pudieran formar cristales de azufre ortorrómico, en las grietas y conductos de la roca:



y los cristales de cinabrio señalados por CORTESE (1901, en URBANI, 1982a) quizás puedan explicarse por la siguiente reacción:



Finalmente comentaremos sobre otras líneas de evidencia, que permiten especular sobre la posibilidad de que las aguas puedan circular por rocas de las formaciones Querecual y El Cantil. (1) En las áreas geotérmicas de Mundo Nuevo - Las Minas, todas las manifestaciones están ubicadas en afloramientos de la Formación Barranquín, pero a corta distancia al sur (1 a 2 Km) aflora la Formación El Cantil, y a una decena de kilómetros al sur hay afloramientos de la Formación Querecual. (2) Segun trabajos de geología de superficie por el M.E.M., coordinados por V. Vivas, encuentran evidencia de fallas de corrimiento (de norte a sur), que repiten e invierten la secuencia estratigráfica, sugiriendo la presencia de rocas de la Formación El Cantil por debajo de la Formación Barranquín (P. Varela, ponencia en la *Conferencia Internacional de Fuentes Alternas para la Generación de Electricidad*, Caracas, 15-12-83). (3) El tec. J. BOLIVAR (com. oral, 23-12-1976) quién trabajo en las perforaciones que realizo el M.M.H. en esta zona, comunica que en un lugar no determinado con precisión (por carecer de la base topográfica), a poca profundidad (decenas de metros) aparecieron calizas tipo El Cantil.

Con esta información, aun cuando no concluyente, puede especularse que en la zona profunda del sistema geotérmico, las aguas entran en contacto con rocas carbonáticas de la Formación El Cantil, y posiblemente también de la Formación Querecual.

#### Possible origen de los Cerritos de Mundo Nuevo.

La manifestación Su.61 de Mundo Nuevo es un extenso azufral con la particularidad de presentar tres pequeñas colinas, orientadas con rumbo N 50 E, constituidas a manera de conos de bloques de diversos tamaños de arenisca blanca lixiviada de la Formación Barranquín. Sus características no son explicables como simples elevaciones producto de los normales procesos erosivos, y su forma cónica es sugerente de algun origen especial. Apoyamos una idea, que se ha comentado mucho en los círculos geotérmicos, como elevaciones debidas a explosión freática.

El proceso consistiría en la existencia de un acuífero poco profundo relativamente confinado, con agua a una temperatura superior al punto de ebullición. La presión acumulada por la liberación de gases y la ebullición haría que en un momento dado, esa presión fuese superior al límite de resistencia de las rocas suprayacentes, hasta forzar una

ruptura, creando una explosión o serie de explosiones sucesivas en el espacio y el tiempo. Si consideramos que las rocas involucradas son areniscas de la Formación Barranquín, puede parecer difícil pensar en un acuífero poco profundo relativamente confinado, pero para ello pudieramos pensar en un proceso conocido en la literatura inglesa como *silica sealing*, es decir un proceso de sellado por precipitación de sílice (ópalo o calcedonia).

El proceso de *sellado y explosión*, pudiera ser repetitivo en el tiempo, de modo que los domos producto de las explosiones, pueden estar alineados a lo largo de una zona de fracturas (o fallas), que precisamente son las que se van sellando y abriendo sucesivamente. La temperatura óptima para que se pueda producir un proceso de fuerte precipitación de SiO<sub>2</sub>, es con temperaturas mayores de 180°C (TONANI, 1970; WHITE et al., 1970), ya que así, un agua cuyo contenido de sílice revele equilibrio con cuarzo, al bajar la temperatura se sobresatura con respecto a ópalo y tiende a depositarlo rápidamente (fig. 7).

En un proceso como el indicado, se puede esperar la existencia de brechas silíceas, es decir fragmentos de rocas (areniscas), cementados por material silíceo, con indicaciones de varias etapas de ruptura. Esto puede verse en algunos grandes bloques cerca de la entrada de Mundo Nuevo, donde se hace evidente que algunos bloques incluidos en las brechas, a su vez son brechas.

El origen del agua poco profunda de muy alta temperatura, puede ser multiple: acuíferos superficiales sobre calentados por emisiones de vapor y gases procedentes de un reservorio muy caliente profundo, o simplemente ascenso y penetración de dicha agua muy caliente profunda, a una zona permeable de poca profundidad.

En la actualidad la posible falla que controla la orientación de estos cerros, aun es una vía activa de ascenso de fluidos geotérmicos, con emisión de gases y vapor de agua a manera de chirriadero (en uno de estos puntos de emisión se ha medido una temperatura de 95°C, HEVIA y DI GIANNI, 1983).

#### Origen de los azufrales.

Los azufrales tal y como fueron descritos en el capítulo 3, son lugares caracterizados por la ausencia de vegetación (a excepción de algunas escasas especies adaptadas a tales lugares) y así mismo presentan características depósitos de minerales silíceos (ópalo y/o calcedonia [cuarzo alfa por D.R.X.]), y azufre. El posible origen del azufre y de los depósitos de SiO<sub>2</sub>, ya fue discutido anteriormente. Permitiendo entonces postular que los azufrales son zonas de fuerte alteración hidrotermal de las rocas, en el ámbito de un reservorio geotérmico de alta temperatura (agua líquida dominante), lo cual produce una fuerte lixiviación de la roca, dejando al cuarzo como residuo principal. Podemos postular un proceso en varias etapas:

1) Existencia de un reservorio geotérmico dominado por agua, con temperaturas  $> 180^{\circ}\text{C}$ . Allí se experimentaría un fuerte proceso de alteración hidrotermal, con lixiviación de la roca. En estas condiciones, los minerales accesorios de las areniscas cuarcíferas de la Formación Barranquin, como feldespatos y micas serían los más afectados. Este proceso aumentaría la permeabilidad de la zona, facilitando los procesos de circulación de fluidos.

2) El levantamiento y erosión del área, hace que la zona antes ocupada por el reservorio ahora esté por encima de la mesa de agua. Este lugar puede entonces convertirse en una zona localmente dominada por vapor, donde el azufre cristalizaría en los intersticios como se explicó anteriormente.

3) La continuación de los procesos de levantamiento y erosión, permite que la zona quede expuesta en la superficie, pero con unas condiciones de suelo muy ácido y altos tenores de azufre, que hacen que la vegetación se adapte con mucha dificultad (vease la zonación de la vegetación en la fig. 69).

La fig. 70 tomada de WJEC (1982b) ilustra parcialmente el mecanismo señalado.

#### 4.1.4. Área de la cuenca del río Casanay. (IIIt54, 135, f229).

Esta zona tiene características parcialmente similares a la zona de Mundo Nuevo, ya que consta de los siguientes tipos de manifestaciones geotérmicas:

- Manantiales de aguas bicarbonatadas cárnicas, poco calientes.
- Azufrales inactivos, o con el suelo ligeramente caliente.

Es decir, parece ser una zona de origen similar a la anterior, pero con una actividad geotérmica hoy día muy disminuida y de baja temperatura.

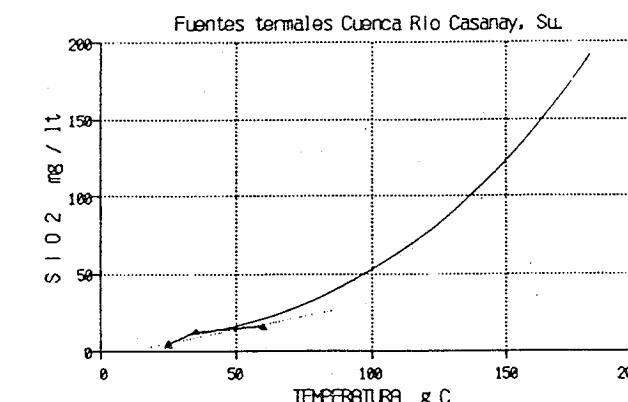
Los valores de T estimados por los geotermómetros químicos (tabla 9), permiten predecir una temperatura entre 35 y 55°C, en el acuífero que alimenta las fuentes termales, que es básicamente el intervalo de las temperaturas medidas en el campo. El gráfico SiO<sub>2</sub> vs. T produce una fuerte correlación, pero no diagnóstica en términos de poder predecir una t(wsmm), ya que los puntos casi coinciden con la curva de solubilidad del cuarzo.

Si se quisiera postular un modelo hidrológico para este sistema, se pudiera tomar como semejante el de las aguas bicarbonatadas de la zona de Mundo Nuevo (fig. 66), pero sin tener evidencia de un acuífero caliente más profundo.

TABLA 9

Resumen de información de geotermómetros de las fuentes termales de la cuenca del río Casanay, Estado Sucre

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca-Mg	TSD
Su.36	13	30	35	47	36	404
31	16	60	61	55	32	337



# AZUFRAL.

SU-61

LOS TRES CERRITOS  
Mundo Nuevo, Su.

Levantamiento: HEVIA y DI GIANNI  
Tomado de: HEVIA y DI GIANNI (1983)

Fig. 68

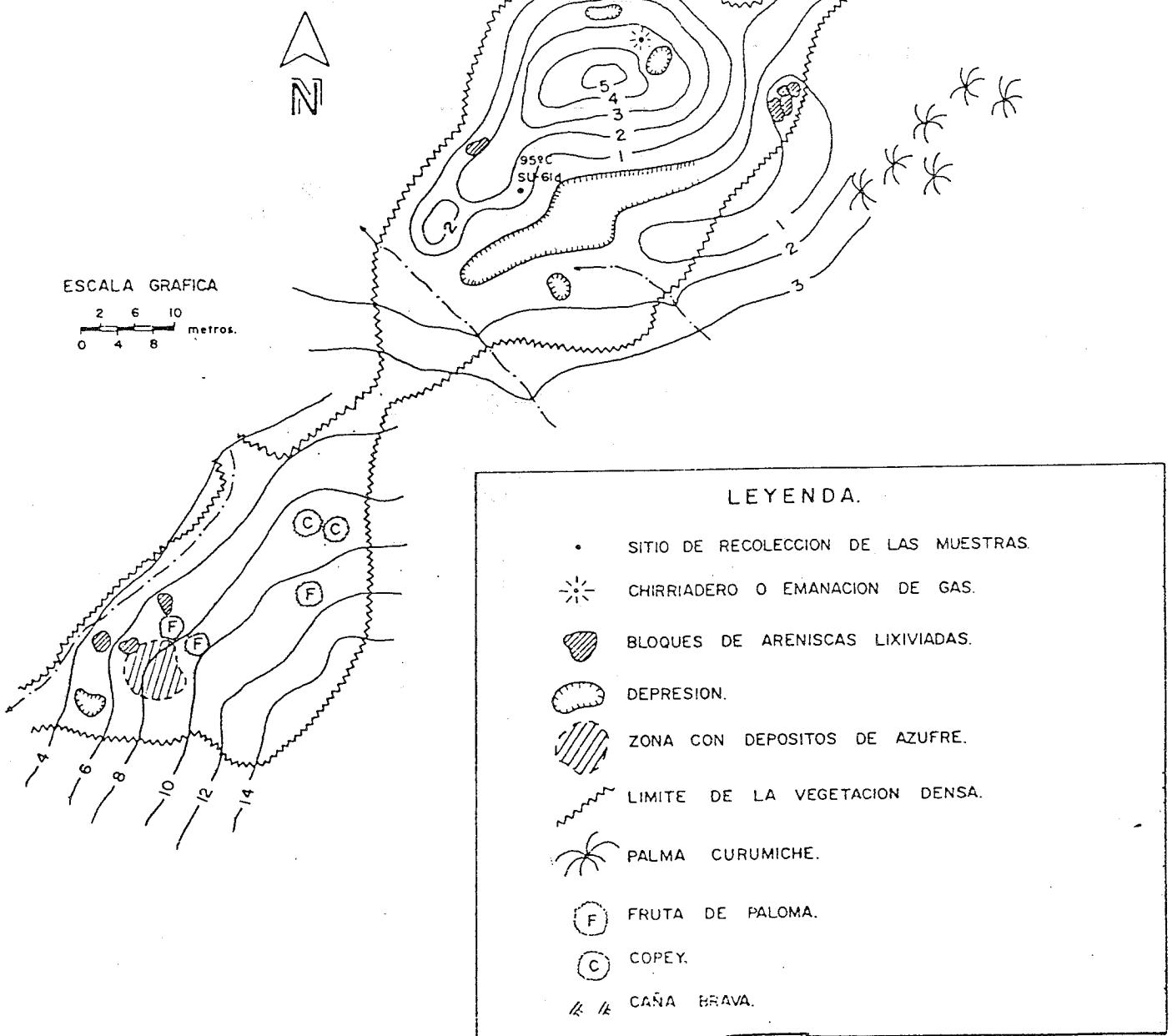
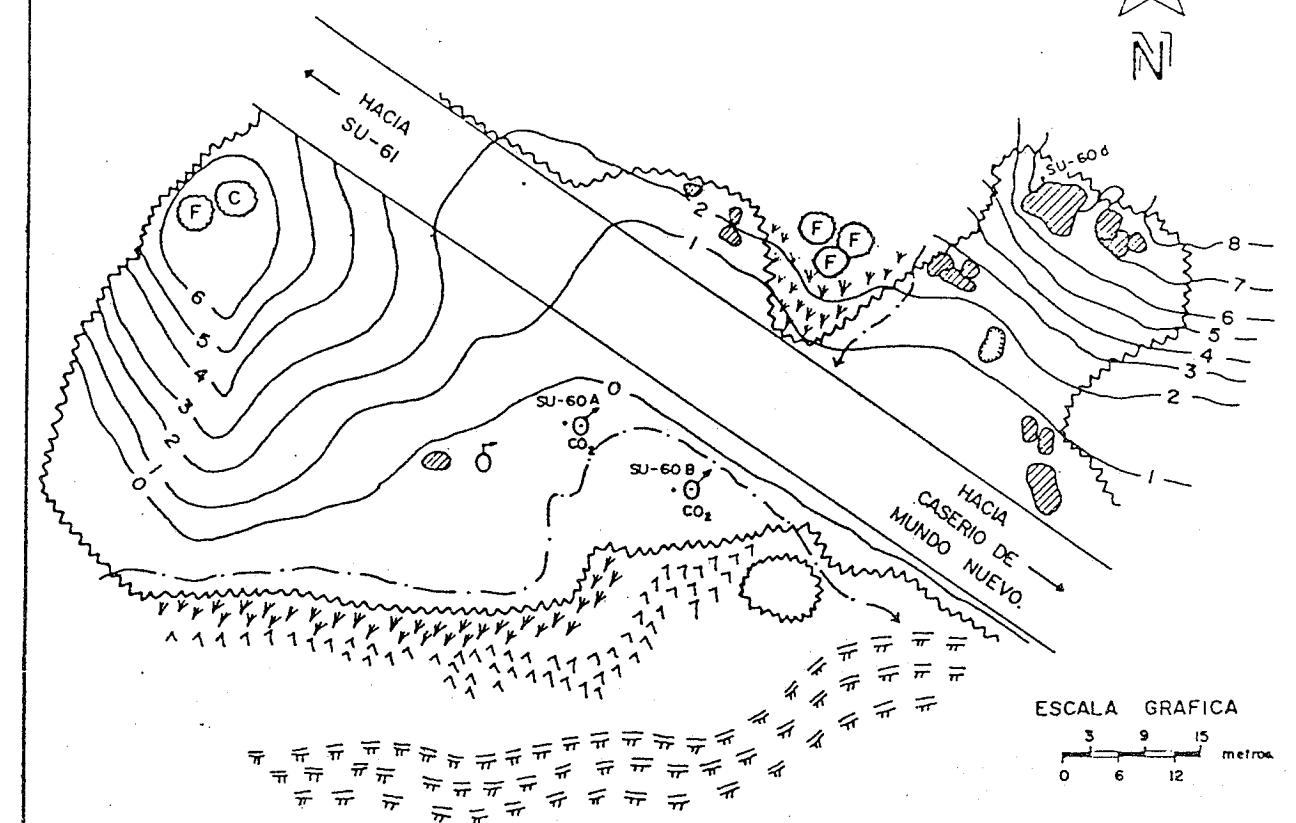


Fig. 69

AZUFRAL SU-60.

MUNDO NUEVO, Su.



LEYENDA.

- |                                    |                               |
|------------------------------------|-------------------------------|
| • FUENTE TERMAL CON GAS.           | • LIMITE DE VEGETACION DENSA. |
| • GRUPO DE FUENTES.                | • FRUTA DE PALOMA.            |
| • SITIO DE CAPTACION DE MUESTRAS.  | • COPEY.                      |
| • BLOQUES DE ARENISCAS LIXIVIADAS. | • HELECHOS.                   |
| • DEPRESION.                       | • CAÑA BRAVA.                 |
| • CAMINO DE TIERRA.                | • LIRIOS.                     |

Levantamiento: HEVIA y DI GIANNI, 1981. Tomado de: HEVIA y DI GIANNI (1983).

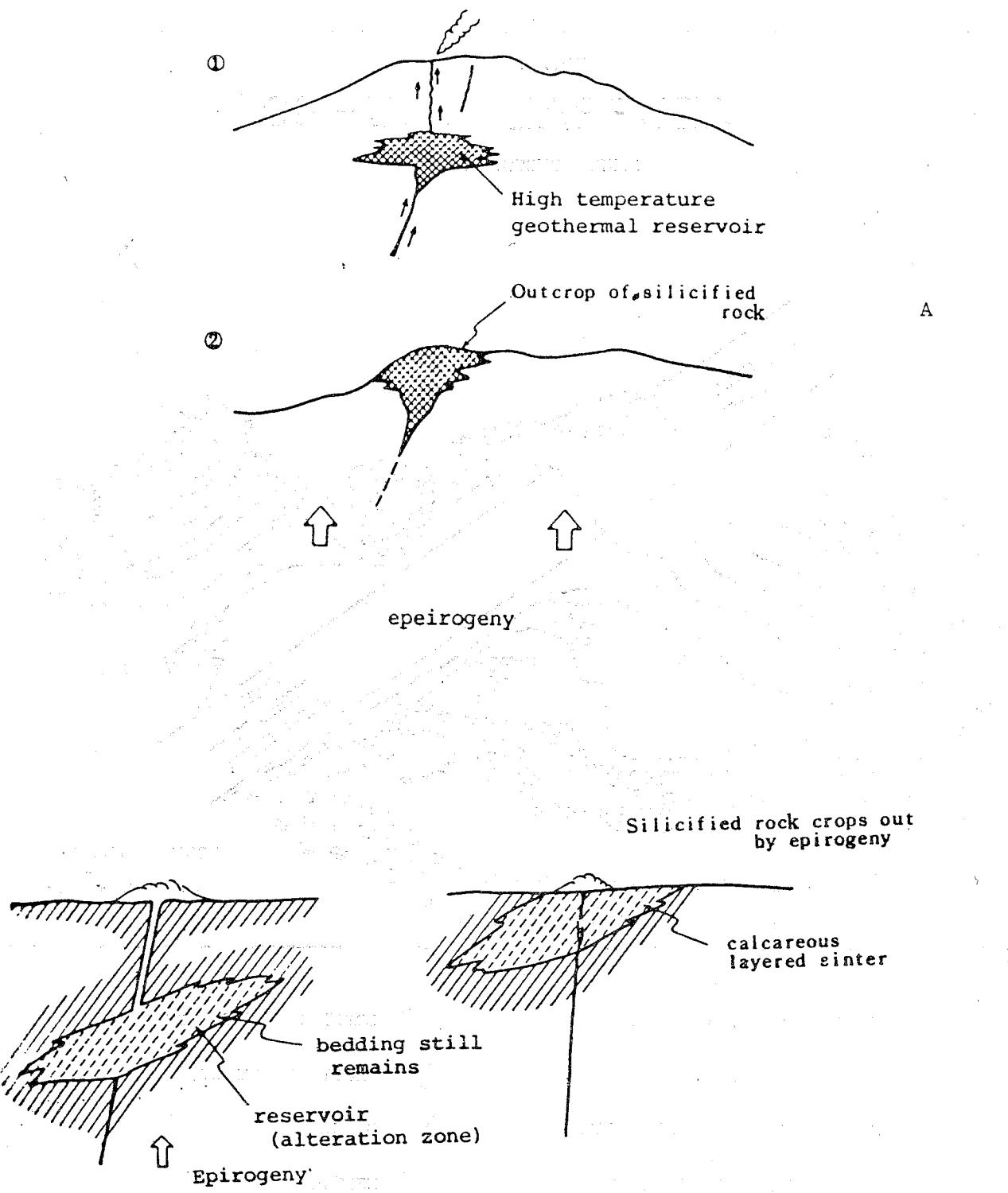


Fig. ORIGEN DE LOS 'AZUFRALES', según WJEC (1982).  
70

#### 4.1.5. Santa Rosa - Putucual - Chacaracual. (IIIt57, 137, f229, 266d).

En esta zona brotan tres manantiales de baja temperatura, tanto de campo como estimada por los geotermómetros químicos (tabla 10), donde  $t(\text{SiO}_2) = t(\text{alc}) = 40-55^\circ\text{C}$ . Los gráficos  $\text{SiO}_2$  vs.  $t$ ,  $y$  vs.  $\text{Cl}$ , parecen indicar la posibilidad de mezcla, pero si utilizamos los datos de HEVIA y DI GIANNI (1983) nos dará  $t(\text{wsmm}) = 45^\circ\text{C}$ , mientras que utilizando los datos de otros autores, resulta  $t(\text{wsmm}) = 130-145^\circ\text{C}$ . Esta discrepancia hace difícil poder llegar a una interpretación adecuada, pero a pesar de esta dificultad, proponemos tentativamente un modelo esquemático como el presentado en la fig. 71.

#### 4.1.6. Área de Pantoño. (IIIt55, 140, f230).

En esta zona brotan los manantiales termales de mayor caudal de Venezuela, con temperaturas medidas cercanas a  $30^\circ\text{C}$ . La tabla 11 presenta un resumen de los valores estimados con los geotermómetros químicos, que podemos resumir:

$$t(\text{cz}) = 37-89, \bar{t} = 68; \quad t(\text{alc}) = 32-106, \bar{t} = 69.$$

el modelo de mezcla  $t(\text{wsmm})$  no es aplicable en este caso debido a la poca variación de la temperatura de las aguas. Considerando la variación de los estimados de los geotermómetros, pudieremos interpretar como temperatura máxima alcanzada en el (o los) acuíferos que alimentan estos manantiales como entre  $70$  y  $100^\circ\text{C}$ .

La fig. 72 presenta un modelo esquemático, donde se señala el posible ciclo hidrológico, con la zona de recarga en las montañas al sur de Pantoño, posiblemente relacionado con las áreas cársticas existentes, que permiten una rápida y voluminosa recarga.

TABLA 11

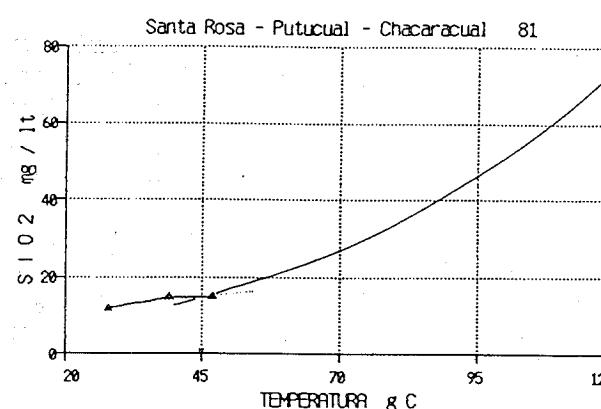
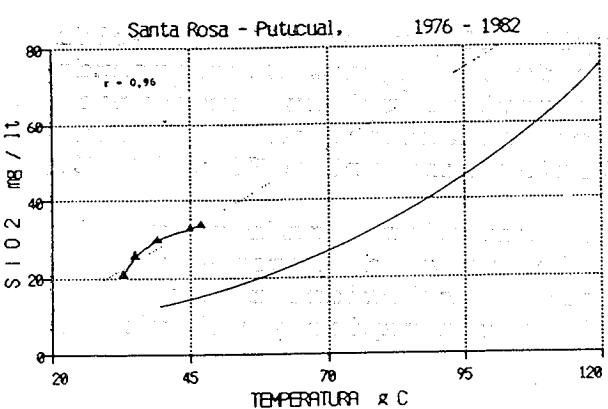
Resumen de información de geotermómetros de fuentes termales del área de Pantoño, estado Sucre

TABLA 10

Resumen de información de geotermómetros del área de Santa Rosa

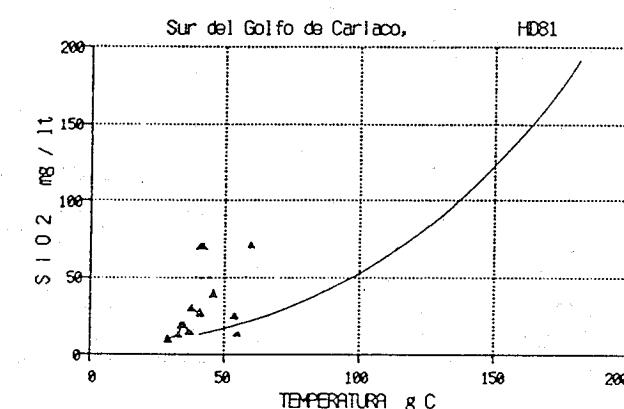
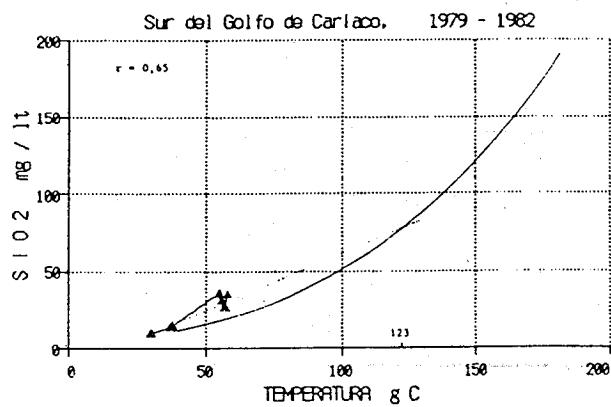
Putucual - Chacaracual

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca-Mg	TSD
Su.23	15	24	39	53	39	188
22	15	346	47	54	47	662
39	12	20	28	44	26	2500
Prom.	14	130	38	50	1117	



Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca-Mg	TSD
Su.43	9	280	37	33	82	807
43M	35	288	30	86	98	1103
19A	29	144	29	78	67	539
20	21	103	32	65	39	284
72	19	110	33	61	95	434
71	16	52	30	55	81	271
66	22	101	32	67	92	506
68	23	104	33	69	82	443
19	28	113	32	77	31	251
69	22	107	32	67	161 (106) *	443
41	28	46	33	77	33	574
42	22	120	29	67	57	741
67	25	40	34	72	34	479
21	23	108	32	69	26	195
70	21	114	31	65	70	442
95	21	110	31	65	71	581
44	37	41	25	89	56	721
Prom.	23	116	31	68	69 (66) *	526
des.est.	8	70	6	14	34 (26) *	228

(\*) con corrección por Mg.



4.1.7. Costa Sur del Golfo de Cariaco.  
(IIt58, 143, f230, 267ab, 268e).

Las características físico-químicas (tabla 12) de las fuentes de esta región nos permiten agruparlas como sigue:

	TSD	$t(c)$	$t(cz)$	$t(Na-K-Ca)$	Mg	tipo
Cachamaure-Pta. Gorda	342	35-60	65	290	40	$HCO_3 > Cl > SO_4$ $Na+K >> Mg > Ca$
Cotua-La Peña	2070	33-41	78	175	33	$HCO_3 > Cl > SO_4$ $Na+K > Mg >> Ca$

Esto indica la necesidad de utilizar interpretaciones diferentes para ambos grupos:

El alto contenido de Na, Cl y TSD, para las fuentes de Cotua - La Peña, sugiere cierto grado de mezcla con agua marina. El bajo contenido de Ca, pudiera explicarse por precipitación de calcita; que también explicaría la fuerte discrepancia  $t(Na-K-Ca-Mg) \ll t(Na-K-Ca)$ .

En el caso del grupo de Cachamaure - Punta Gorda, existe la misma discrepancia entre los geotermómetros de Na-K-Ca-(Mg), pero aquí la concentración de Mg es muy alta (mas del doble), por lo cual es indispensable la corrección por este elemento.

Se observan interesantes relaciones lineales SiO<sub>2</sub> vs. T, que junto a  $t(alc) > t(cz)$ , apuntan a la posibilidad de aplicar modelos de mezcla. Los gráficos correspondientes aparecen en las figs. IIIf267a, 267b y 268e que permiten los siguientes resultados:

	fecha muestras	r	n	$t(wsmm)$
todas las muestras	1976-82	0,65	7	123
" " "	1981	0,44	14	164
Solo Punta Cotua	1981	0,99	3	119
Solo Cachamaure-P.Gorda	1981	0,95	5	>200

Estos resultados son lo suficientemente interesantes como para interpretar temperaturas relativamente altas en el subsuelo, pero en lugar de dar cifras exactas preferimos, dar un valor conservador de  $t(wsmm) > 120^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente a la mezcla, quizás el tiempo de residencia de las aguas haya sido relativamente alto, permitiendo un reequilibrio Na-K-Ca a temperaturas menores. En la fig. 73 se presenta un modelo esquemático de este sistema geotérmico.

FIG. 72. MODELO HIDROLOGICO ESQUEMATICO DEL AREA DE PANTONO, SU.

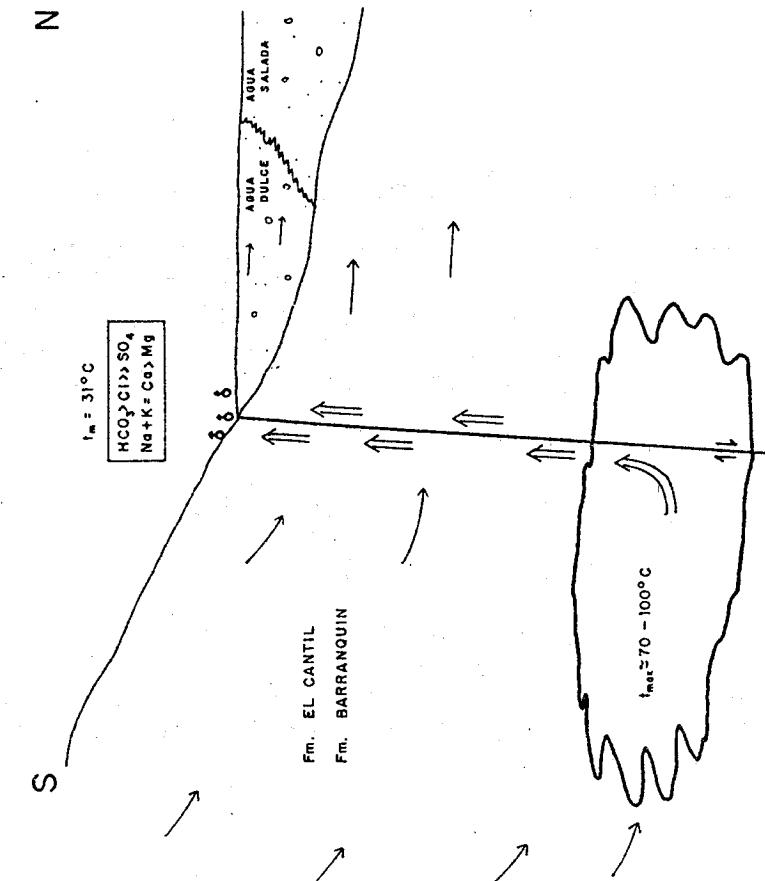


FIG. 71. MODELO HIDROLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES TERMALAS DE SANTA ROSA, PUTUCAU-CHACARACUAL, SU.

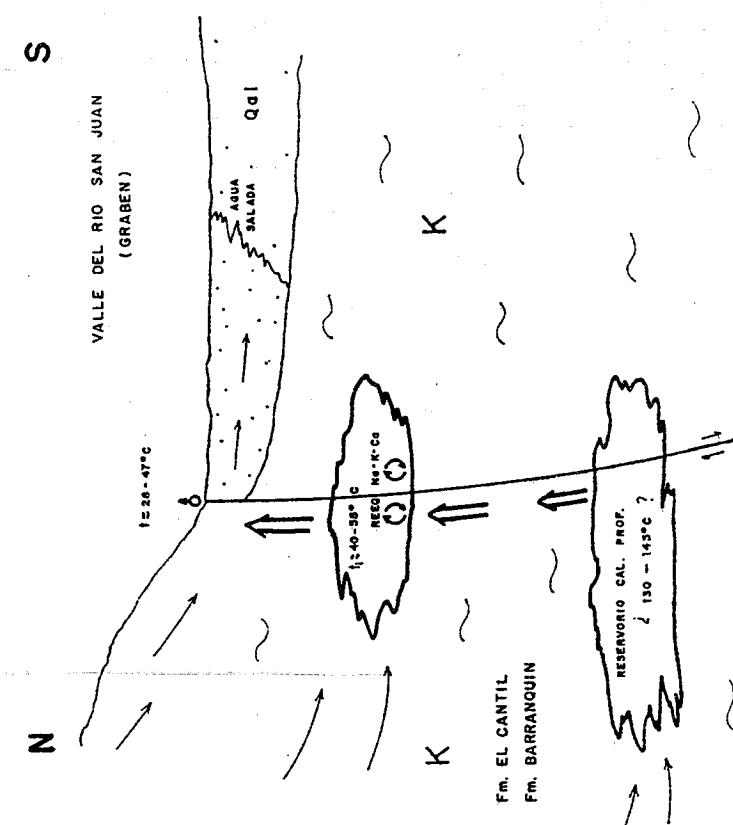


TABLA 12

Resumen de información de geotermómetros de las fuentes termales del sur del Golfo de Cariaco, Sucre

4.1.8. Los Ipures, sur de Cumaná. (IIt60, 147, f231).

Los manantiales de esta zona son muy conocidos y utilizados para fines médicos. Están muy mineralizados ( $TSD = 2640 \text{ mg/l}$ ) y tienen una composición bicarbonatada sódica, presentan emisiones de  $\text{CO}_2$  y hay precipitación de calcita. Los estimados de los geotermómetros (tabla 13) se pueden resumir como sigue:

	intervalo	promedio
$t_{cz}$	= 51- 85,	$t = 67^\circ\text{C}$
$t_{(\text{Na}-\text{K}-\text{Ca})}$	= 206-219,	$t = 210$ (precipita calcita)
$t_{(\text{Na}-\text{K}-\text{Ca}-\text{Mg})}$	= 51- 59,	$t = 51$
$t_{(wsmm)}$	> 120 $^\circ\text{C}$	( $r = 0,78$ )

En la estimación de las temperaturas máximas en un posible reservorio profundo preferimos manejar una cifra conservadora de  $t > 120^\circ\text{C}$ , con posible reequilibrio posterior a temperaturas más bajas. La fig. 73 presenta un posible modelo hidrológico para esta zona.

4.1.9. Fuentes del área de Mochima - El Tacal y Península de Araya. (IIt61, t150, f231).

Estas manifestaciones son esencialmente frias en superficie y los estimados con geotermómetros son también bajas. La tabla 14 presenta dichos estimados, pero la dificultad en la interpretación estriba en lo escaso de las muestras analizadas. La fuente de Araya requiere una aclaratoria adicional, ya que es la fuente con el más alto TSD (fundamentalmente Cl y Na) de Venezuela, pero se puede explicar por la influencia del agua de mar y el viento salitroso existente en la zona.

Sigla	$\text{SiO}_2$	Cl	$T_c$	$T_{cz}$	$T_{\text{Na-K-Ca-Mg}} (\text{**})$	TSD
Su88A	14	77	55	50	178 (20)	1250
88B	30	78	38	79	181 (21)	1230
89	19	335	34	63	178 (24)	2480
85	70	251	42	118	171 (53)	2400
86A	70	257	41	118	172 (53)	2350
86B	19	267	35	63	178 (32)	2260
84	71	300	60	119	174 (23)	2440
87	25	270	54	73	167 (60)	2160
77	18	154	34	59	292 (34)*	465
76	13	87	33	47	- -	464
75	27	33	41	75	284 (41)*	384
74	39	825	46	91	295 (46)*	1420
73	15	0	37	52	- -	100
Prom.	33	225	42	77	206 -	1493

(\*\*) Entre parentesis corrección por Mg.

(\*) Corrección por Mg resulta igual a  $T_c$ .

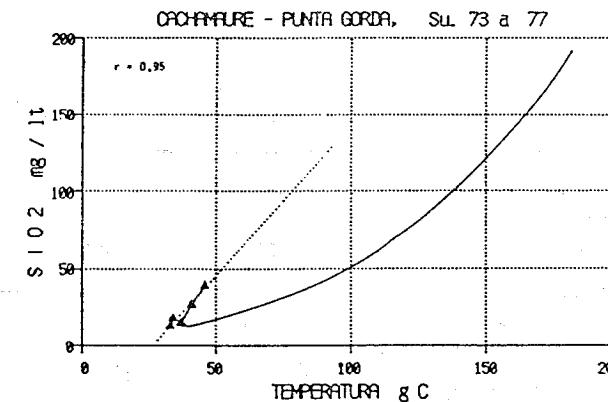
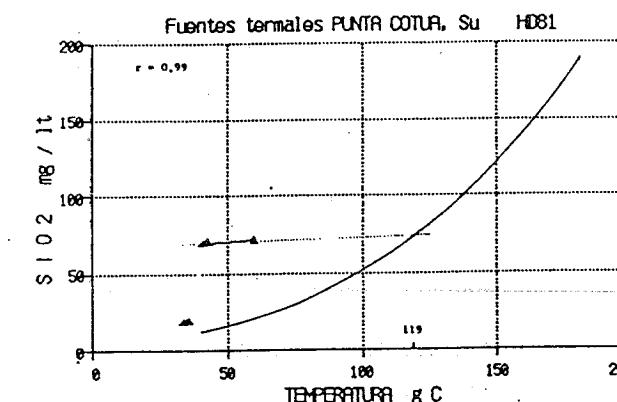
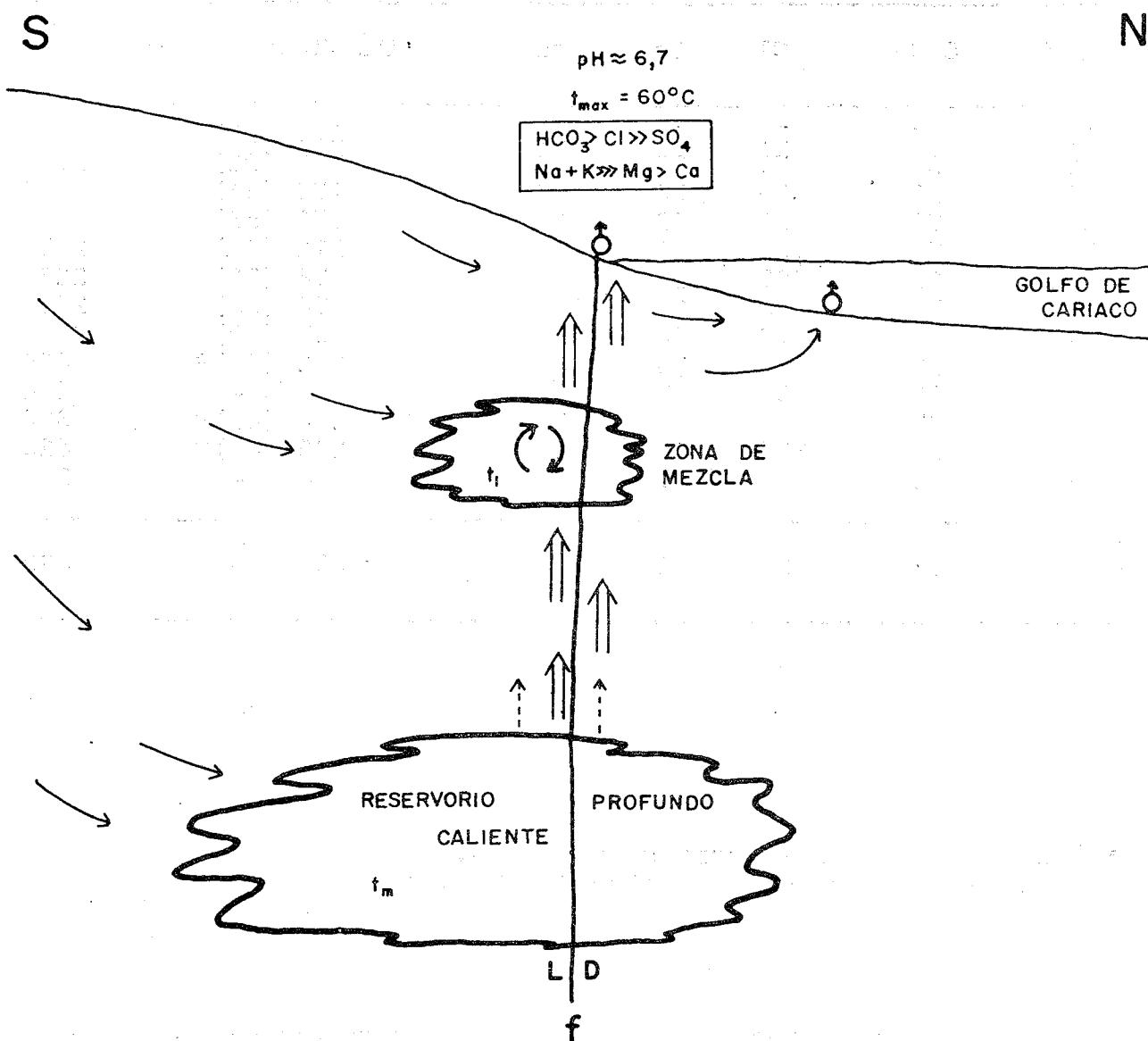


FIG. MODELO HIDROGEOLOGICO ESQUEMATICO DE LAS  
73 MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DEL SUR DEL  
GOLFO DE CARIACO.



ZONA	$t_i$ °C	$t_m$ °C
CACHAMAURE PUNTA GORDA	~ 40-60	> 120
COTUA		
IPURES SUR DE CUMANA	~ 65-85	> 120
(MODELO SEMEJANTE AL DE ARRIBA) (PERO SIN EL GOLFO DE CARIACO)		

TABLA 13

Resumen de información de geotermómetros para las fuentes termales del sur de Cumaná, Estado Sucre

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca-Mg	TSD
Su.92	34	620	40	85	209 (51)	2820
93	28	467	47	77	204 (59)	2800
94A	20	530	31	65	206 (55)	2710
94E	14	544	35	51	213 (53)	2440
94B	17	575	35	59	219 (41)	2420
Prom.	22	547	37	67	210 (51)	2638

TABLA 14

Resumen de información de geotermómetros de las fuentes termales de Mochima, El Tacal, Estado Sucre

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca-Mg	TSD
Su.102	16	96	27	55	-	550
102-ODL	20	127	27	63	25	754
103	15	5	25	20	15	82

Resumen de información de geotermómetros de las fuentes de Araya, Estado Sucre

Su.100	33	9200	34	84	84	15280
--------	----	------	----	----	----	-------

#### 4.2. MANIFESTACIONES DEL SUR Y SURESTE DEL MACIZO

##### ORIENTAL, ESTADO MONAGAS

Tomando en cuenta la ubicación y características de las manifestaciones geotérmicas de esta vasta región geográfica, las podemos clasificar en tres grandes grupos:

###### 1. Región de Caripito, La cual subdividimos como sigue:

1a. Área de Los Morros de Caripito, en donde las fuentes están asociadas a la zona de fallas del graben del río San Juan.

1b. Área oeste de Caripito; donde las pocas fuentes existentes están relacionadas con el sistema de fallas de Azagua.

2. Región del norte y oeste de Quiriquire, con todas las manifestaciones ubicadas en o muy cerca de la discordancia entre las rocas del Cretáceo y Terciario. Conjuntamente con las fuentes termales o sulfurosas, aquí brotan numerosos menes de hidrocarburos.

3. Región de San Antonio - San Francisco, con fuentes sulfurosas ubicadas en o muy cerca de fallas del sistema de San Francisco.

La tabla 15 presenta un resumen de las interpretaciones realizadas con los geotermómetros químicos para las fuentes de todos los grupos anteriores, mientras que las figuras 74 a 78 muestran diferentes gráficos: parámetros de D'AMORE, diagramas de Piper y gráficos X-Y, tanto con variables medidas como con valores estimados de los geotermómetros. En esta muestra gráfica, se notan claramente las características físico-químicas diagnósticas de las manifestaciones de los diversos grupos.

Tabla 15. RESUMEN DE SISTEMAS GEOTÉRMICOS DEL ESTADO MONAGAS

SISTEMA	n	Tem. campo $\bar{X}$ (min.-max.)	T <sub>SiO<sub>2</sub></sub> Na-K-Ca	TEMPERATURAS EN EL SUBSUELO modelo-mezcla	T.S.D. (Prom.)	pH prom.	TIPO DE AGUA
Discordancia K-T.	10	28(24-36)	55-65	150-180	1192	7,1	HCO <sub>3</sub> Na+K >> Ca >> Mg >> SO <sub>4</sub>
Falla de San Fran- cisco	16	25(23-28)	30-60	-	371	6,9	HCO <sub>3</sub> Ca >> Na+K = SC <sub>4</sub>
Graben San Juan	6	24(21-28)	30-50	-	461	6,6	HCO <sub>3</sub> Ca >> SC <sub>4</sub>
Fallas de Azagua	2	23-26	30-50	-	333	7,5	HCO <sub>3</sub> Ca >> Na+K>> SC <sub>4</sub>

FIG. 74 - DIAGRAMAS DE D'AMORE ET AL. 1981 DE SISTEMAS GEOTERMICOS DEL EDO. MONAGAS.

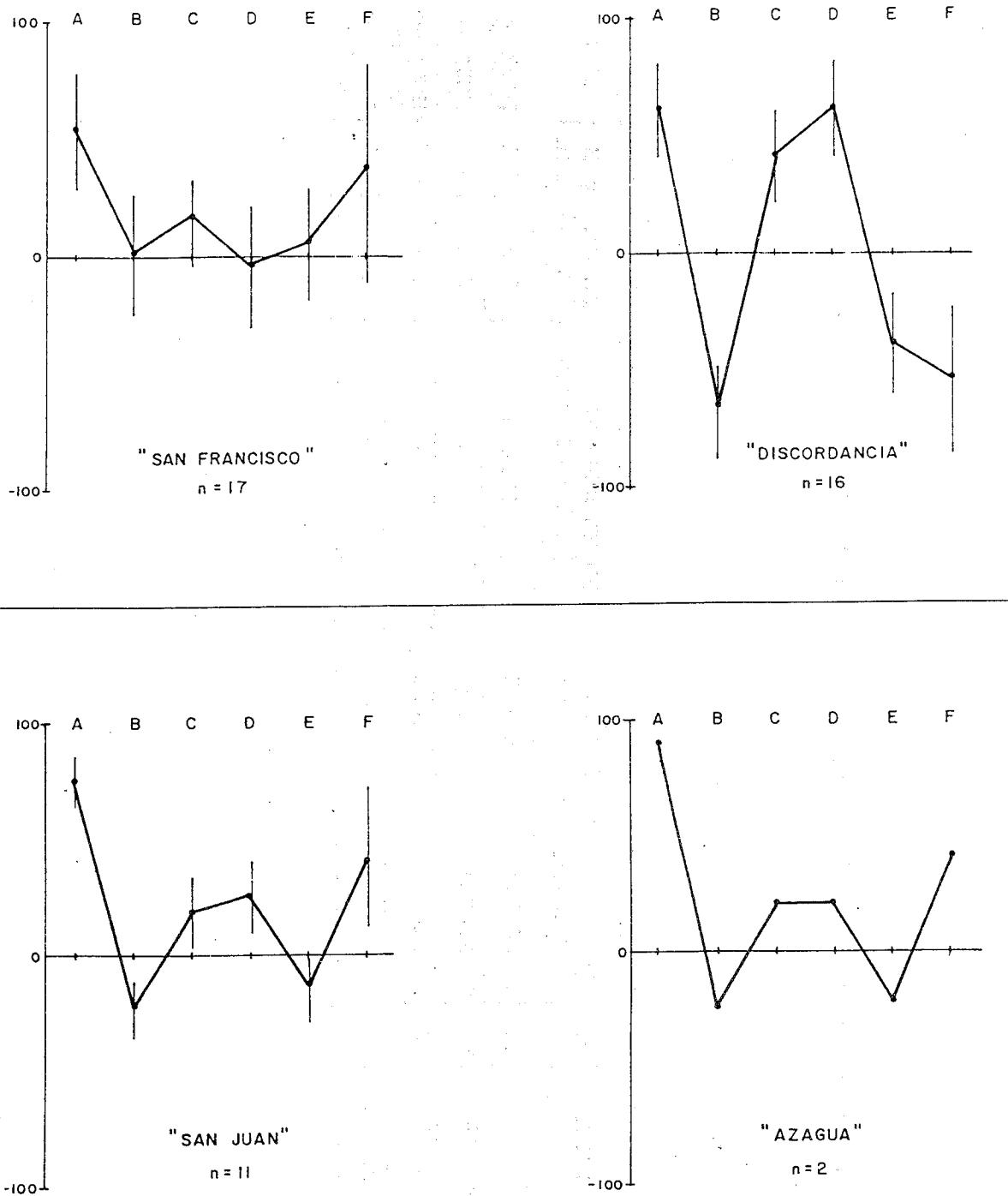


FIG. 75  
DIAGRAMA DE PIPER PARA LAS MUESTRAS  
DE LOS SISTEMAS GEOTERMICOS  
DEL EDO. MONAGAS

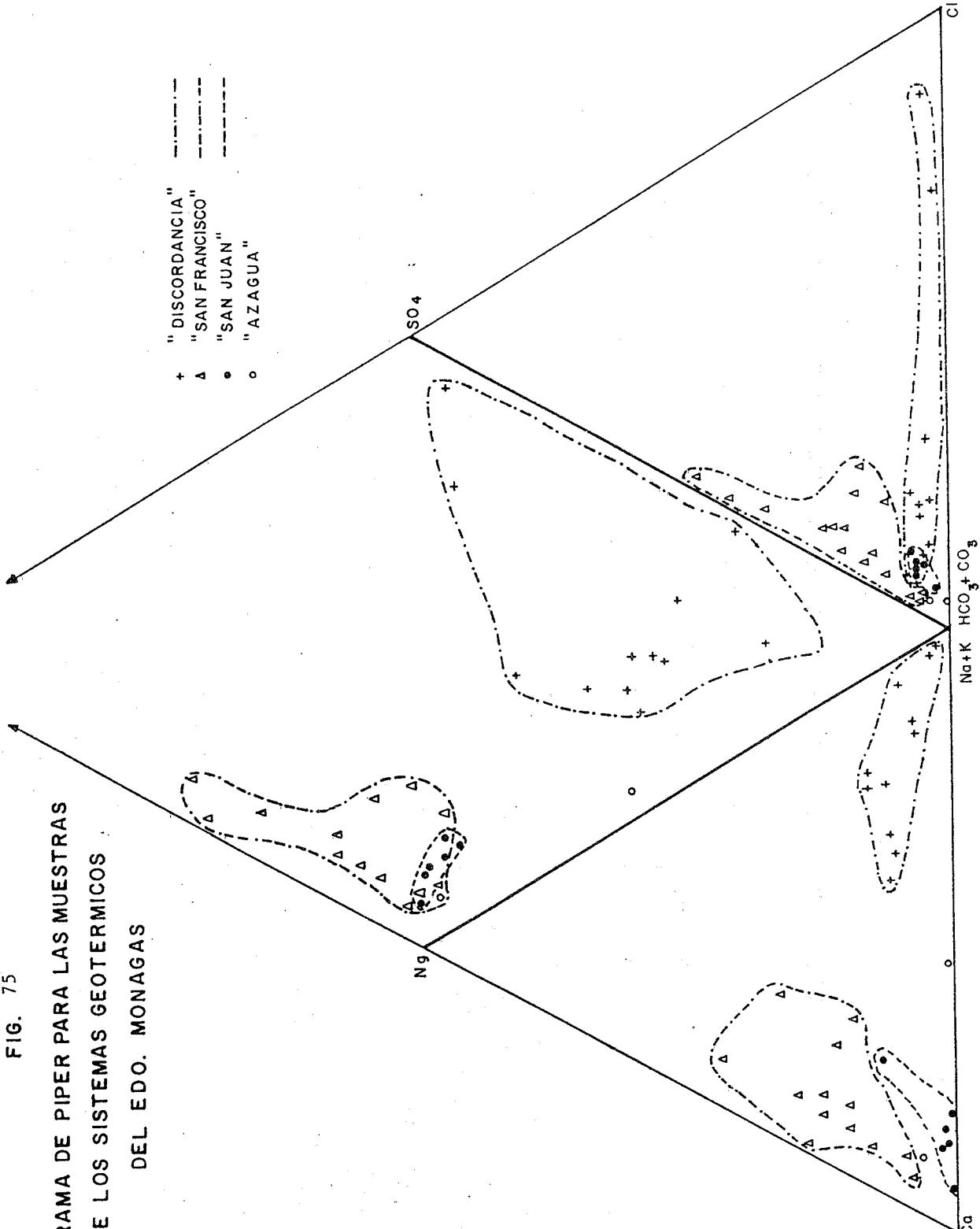
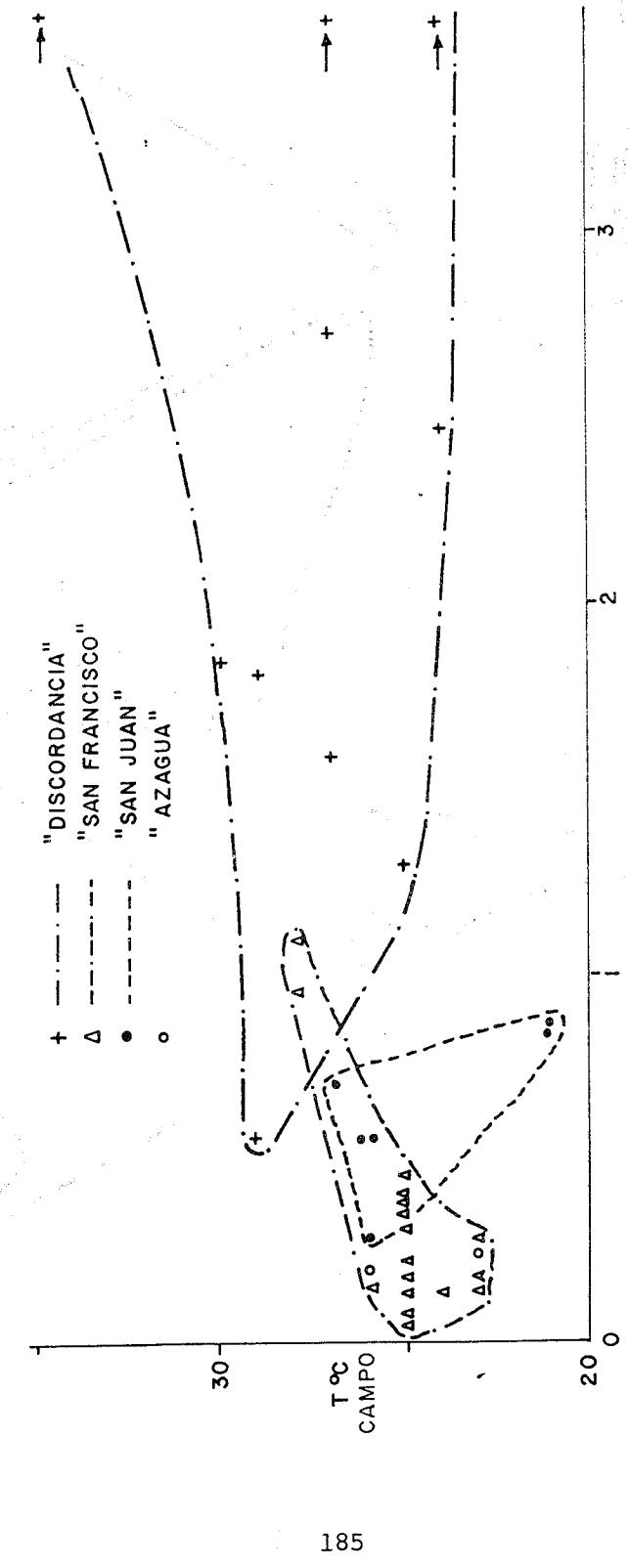
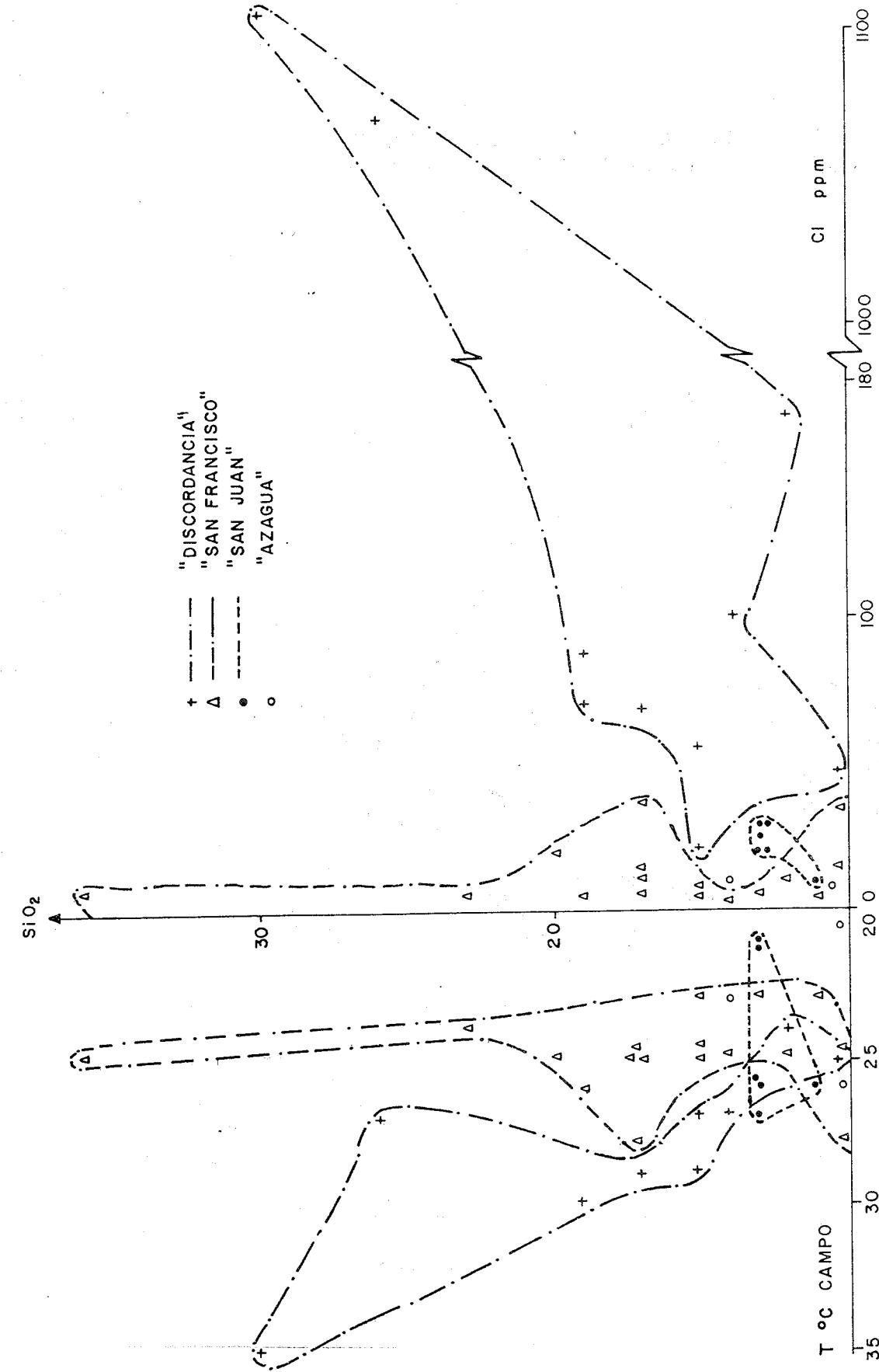


FIG. 76. RELACION ENTRE T Y CI EN LOS SISTEMAS GEOTERMICOS DEL EDO. MONAGAS



185

FIG. 77. DIAGRAMAS T VS SiO<sub>2</sub> Y SiO<sub>2</sub> VS CI DE SISTEMAS GEOTERMICOS DEL EDO. MONAGAS



186

#### 4.2.1. Región de Caripito. (IIt63, 153, f232).

Las fuentes de mayor interés de esta región son las de Los Morros de Caripito, que tienen una composición relativamente normal de tipo bicarbonatada cálcica, con temperaturas de 21 a 28 °C, según la estación del año. Los valores de temperaturas estimados con los geotermómetros químicos, apuntan a valores de:  $t(cz) = t(alc) = 30-50^{\circ}\text{C}$ . Estas bajas temperaturas estimadas y la gran variación estacional de la temperatura de las fuentes (Mo. 4, de 21 a 28°C) sugiere una circulación rápida y poco profunda. La zona de recarga de los acuíferos la constituyen las montañas al oeste de Caripito, donde predominan las características cársticas, con rocas de las formaciones El Cantil y Querecual. La fig. 79 muestra en forma esquemática un posible modelo hidrológico para las fuentes de esta región.

Para una rápida comparación de las características químicas entre las fuentes de esta región vease la fig. IIIf232.

#### 4.2.2. Región de Quiriquire. (IIt65, 154, f232).

Esta es la única región del estado Monagas que presenta fuentes termales [ $t(c)m = 36^{\circ}\text{C}$ ], y de la tabla 17 resumiremos los siguientes valores:

	intervalo	promedio
$t(c)$ =	24-36°C,	$t = 28^{\circ}\text{C}$
$t(cz)$ =	40-75	$t = 57$
$t(\text{Na-K-Ca})$ =	60-115	$t = 71$
$t(\text{Na-K-Ca-Mg})$ =	27-63	$t = 48$

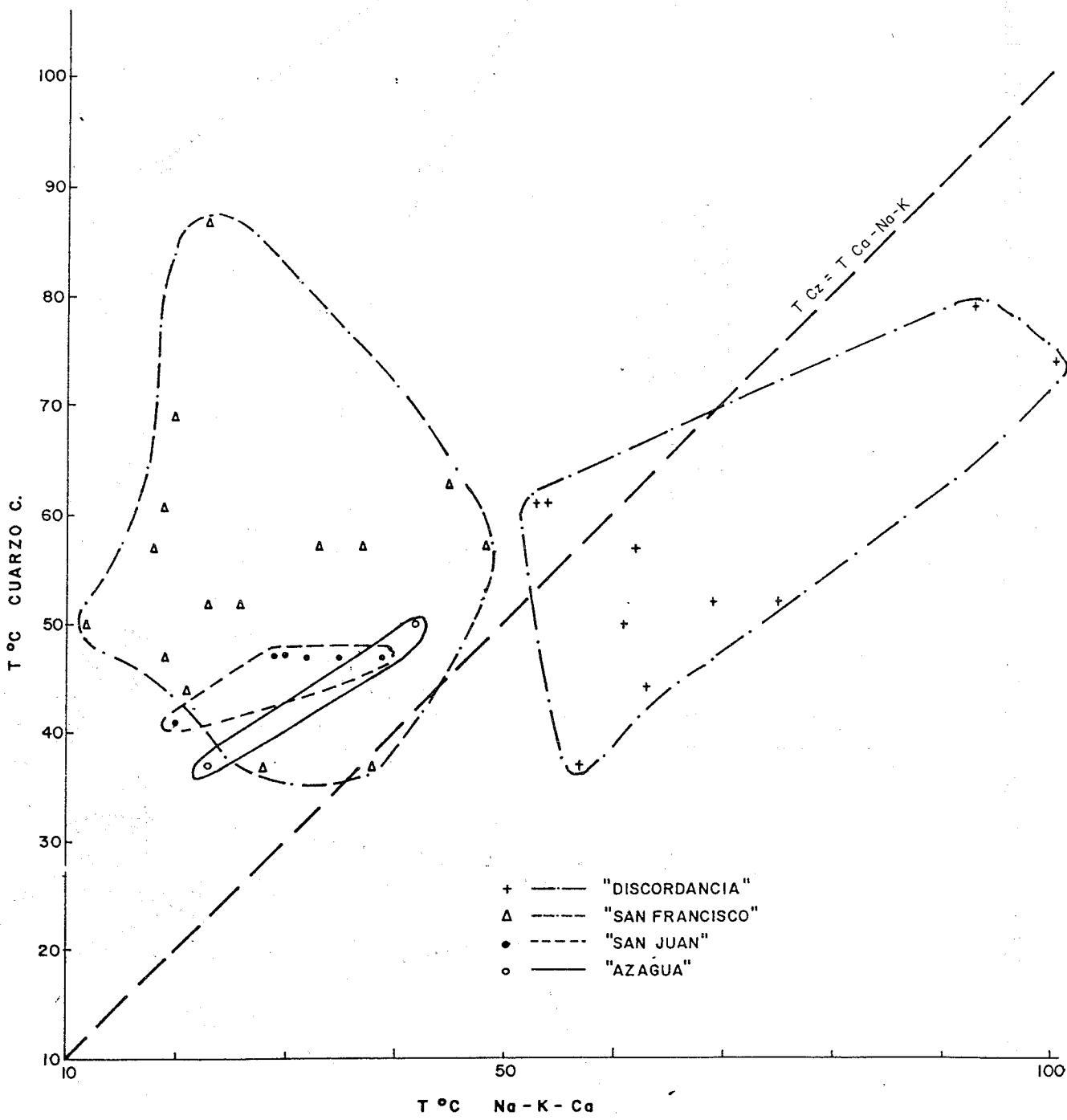
La corrección por Mg parece necesaria debido a la concentración relativamente elevada de este elemento ( $Mg = 1/2 Ca$ ). Con estos valores optamos por interpretar una temperatura máxima en el intervalo 55-65°C, como temperatura del equilibrio Na-K-Ca-Mg.

En los gráficos SiO<sub>2</sub> vs. T, vs. Cl y diagramas de Piper, se nota una fuerte alineación de los puntos que sugiere la posibilidad de mecanismos de mezcla en el subsuelo. Por ello intentamos un análisis con el gráfico SiO<sub>2</sub> vs. T, notando que si utilizamos todos los puntos, la correlación es baja, pero haciendo dos agrupaciones diferentes, consistente con la ubicación de las muestras, se nota más coherencia en los resultados:

	n	r	$t(wsmm)$ C
Fuentes Mo. 18, 19 y 25	3	0,91	153
Otras fuentes	7	0,96	182

En la fig. 80 presentamos un modelo geotérmico esquemático para esta región.

FIG. RELACION ENTRE DETERMINACIONES DE GEOTERMOMETROS EN SISTEMAS  
78 GEOTERMICOS DEL EDO. MONAGAS.



#### 4.2.3. Región de San Antonio - San Francisco. (IIIt66, 157, f234)

Las manifestaciones son manantiales frios y sulfurosos, y debido a lo extenso de la región tienen características muy diferentes. La tabla 18 resume los valores estimados por los geotermómetros químicos, y en ellos se nota una gran dispersión, a saber:

- $t_{cz}$  variable de 37 a 87°C, promedio 54°C.
- $t_{alc}$  variable desde  $< t_c$  hasta 48°C.
- $t_{(Na-K-Ca-Mg)} < [t_c \text{ y } t_{cz}]$ , vease en la fig. 78.

Debido a lo extenso de la zona, se trato de agrupar las fuentes en subgrupos, y de hecho se observan algunas variaciones en los parámetros físico-químicos, pero los resultados no son mas coherentes con los geotermómetros (vease gráficos SiO<sub>2</sub> vs. T en la tabla 18).

Toda esta información sugiere temperatura bajas en los acuíferos que alimentan los manantiales. Con ello elaboramos un modelo hidrológico esquemático (fig. 81), en el cual se sugiere que en diversos sectores a lo largo de la falla de San Francisco los manantiales sulfurosos puedan estar alimentados por "reservorios" de diferentes niveles de profundidad. En este modelo se sugiere a la Formación Querecual, como la fuente de los componentes de azufre de las manifestaciones.

#### 4.2.4. Menes de hidrocarburos de la zona de Aragua de Maturín - Caripito.

La fig. 25 presenta un mapa de distribución de menes de petróleo y gas y arenas impregnadas con petróleo, en la región antes referida: vemos que dichos menes están concentrados en forma similar a los manantiales termales y frios sulfurosos de la zona, es decir sobre o muy cerca de la discordancia Cretáceo-Terciario. Aun cuando las emanaciones de hidrocarburos obviamente no son manifestaciones geotérmicas, las hemos incluido en los mapas anexos a este trabajo, ya que es muy frecuente tanto en Oriente como en el Occidente de Venezuela, que estén asociados a manantiales sulfurosos frios o calientes. La causa de esta asociación la atribuimos únicamente a condiciones tectónicas y estratigráficas que favorecen la emisión o salida a la superficie de fluidos en general (agua, petróleo, gas, etc.). Las fuentes de la zona en consideración están frecuentemente acompañadas con emisiones de gas inflamable.

La fig. 82 muestra un corte geológico generalizado y esquemático, con los grandes rasgos estratigráficos y estructurales del flanco sur del macizo montañoso oriental, controlantes de la acumulación de hidrocarburos.

TABLA 16

Parámetros selectos y valores preferenciales para los datos de geotermómetros de las manifestaciones geotérmicas del área del Valle del Río San Juan, Estado Monagas

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca	TSD
Mo.1	13	20	26	47	30	440
2	13	20	26	47	30	500
3	13	15	27	47	32	466
4	13	30	21 (28) 47		35 (52)	475
5	13	31	21 (28) 47		40 (51)	564
8	11	10	26	41	21	322
Prom.	14	22	24	46	31	461
des.est.	1	9	6	2	9	80

Entre parentesis: Datos y cálculos a partir de análisis de ROMCONSULT (1981)

#### Zona de Quiriquire (Zona de Fallas de Azagua)

Mo.6	10	7	26	37	23	347
	22	14	9	23	50	318

FIG. 79 MODELO GEOLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES TERA  
MALES ASOCIADOS AL GRABEN DEL RIO SAN JUAN  
CARIPITO, MONAGAS. (Y PARCIALMENTE DE LAS FUENTES  
DEL SISTEMA DE FALLAS DE AZAGUA)

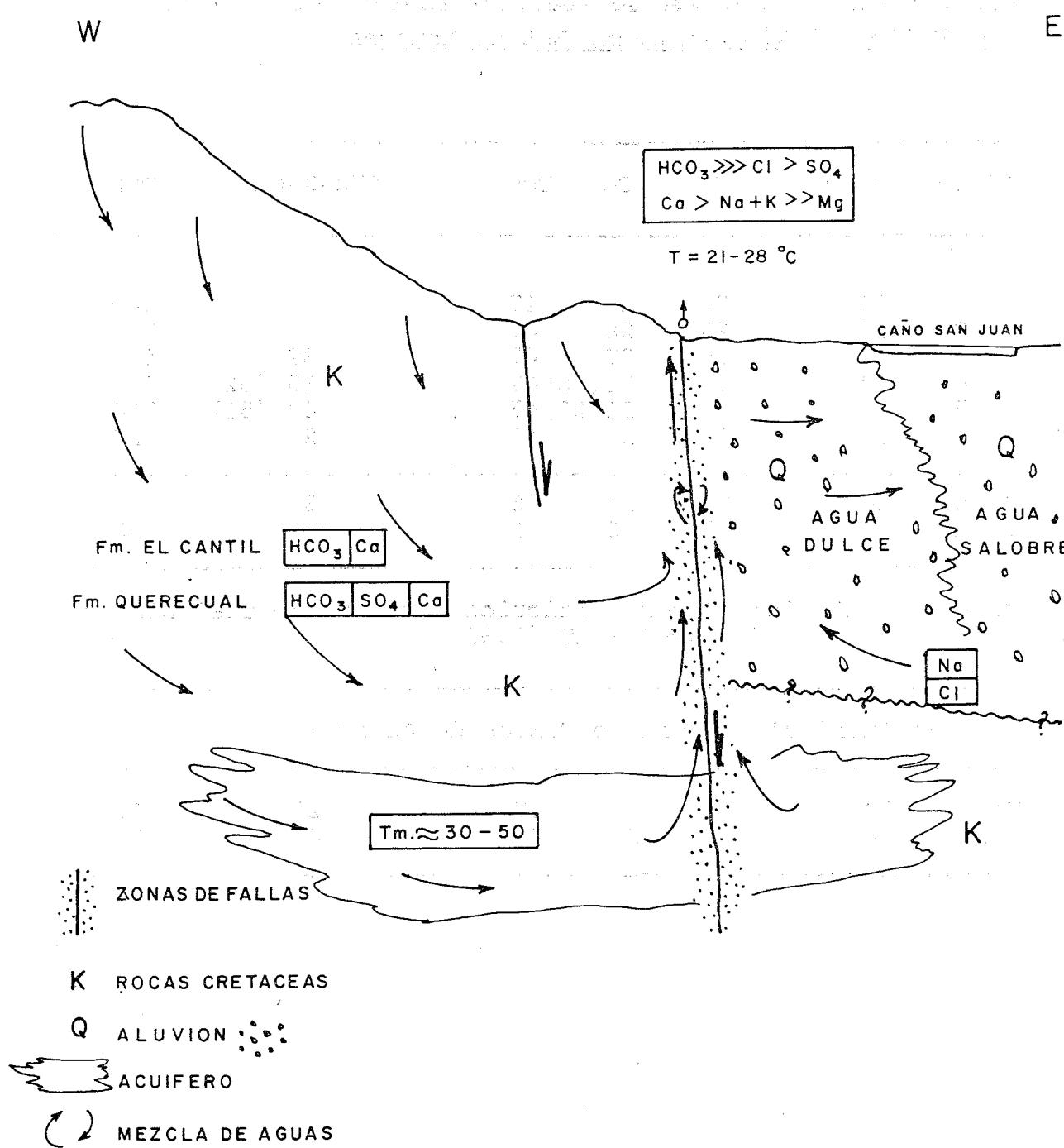


TABLA 17

Parámetros selectos y valores preferenciales para los datos de geotermómetros de las manifestaciones geotérmicas del área de la discordancia Cretáceo-Terciario, Caripito-Quiriquire, estado Monagas.

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca	TNa-K-Ca-Mg	TSD
Mo. 11	14	100	27	50	61	-	949
12	10	46	25	37	58	-	764
14	15	20	29	52	75	29	561
15	15	56	27	52	69	-	685
18	30	1120	36	79	94	36	2180
19	26	1070	27	74	115	27	4630
25	19	87	24	61	55	-	691
26	17	64	29	57	62	29	502
27	19	65	30	61	60	53	551
29	12	164	24	44	64	63	405
Prom. des.est.	18	279	28	57°C			1192
	6	-	4	13			

PROMEDIO Na-K-Ca = 71°C

PROMEDIO Na-K-Ca y Na-K-Ca-Mg (Valores subrayados) = 48°C

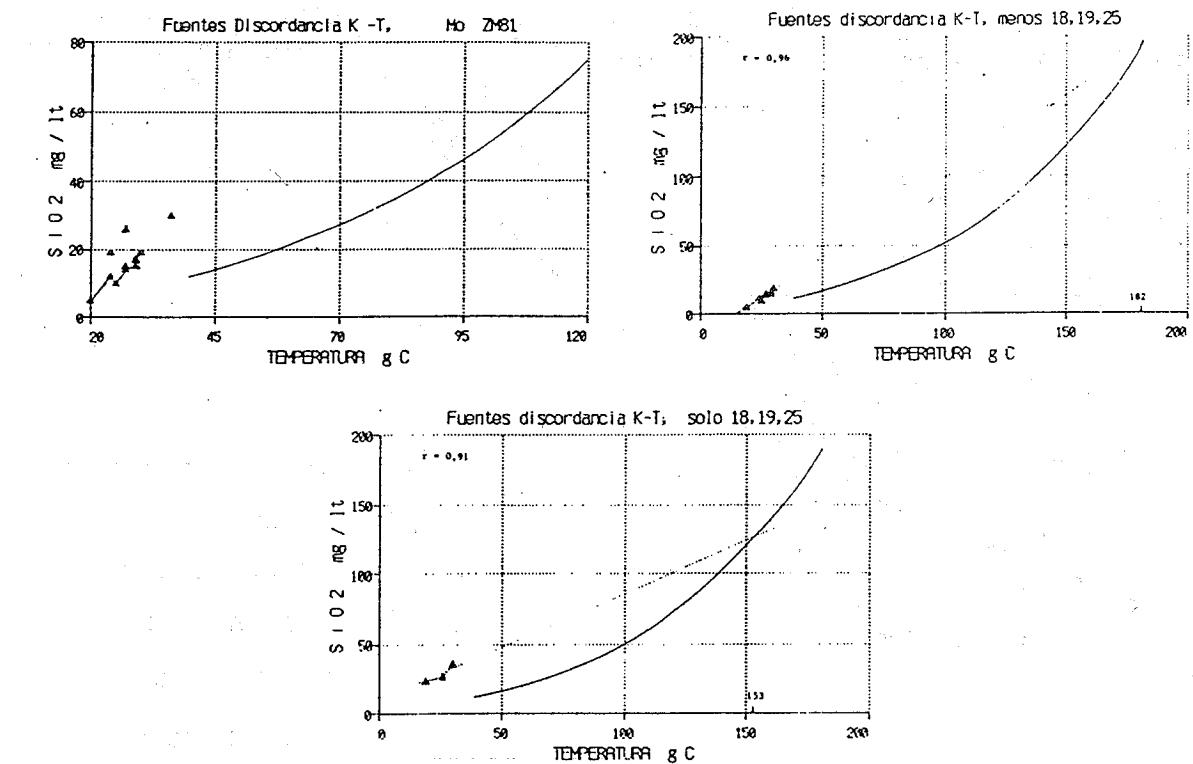
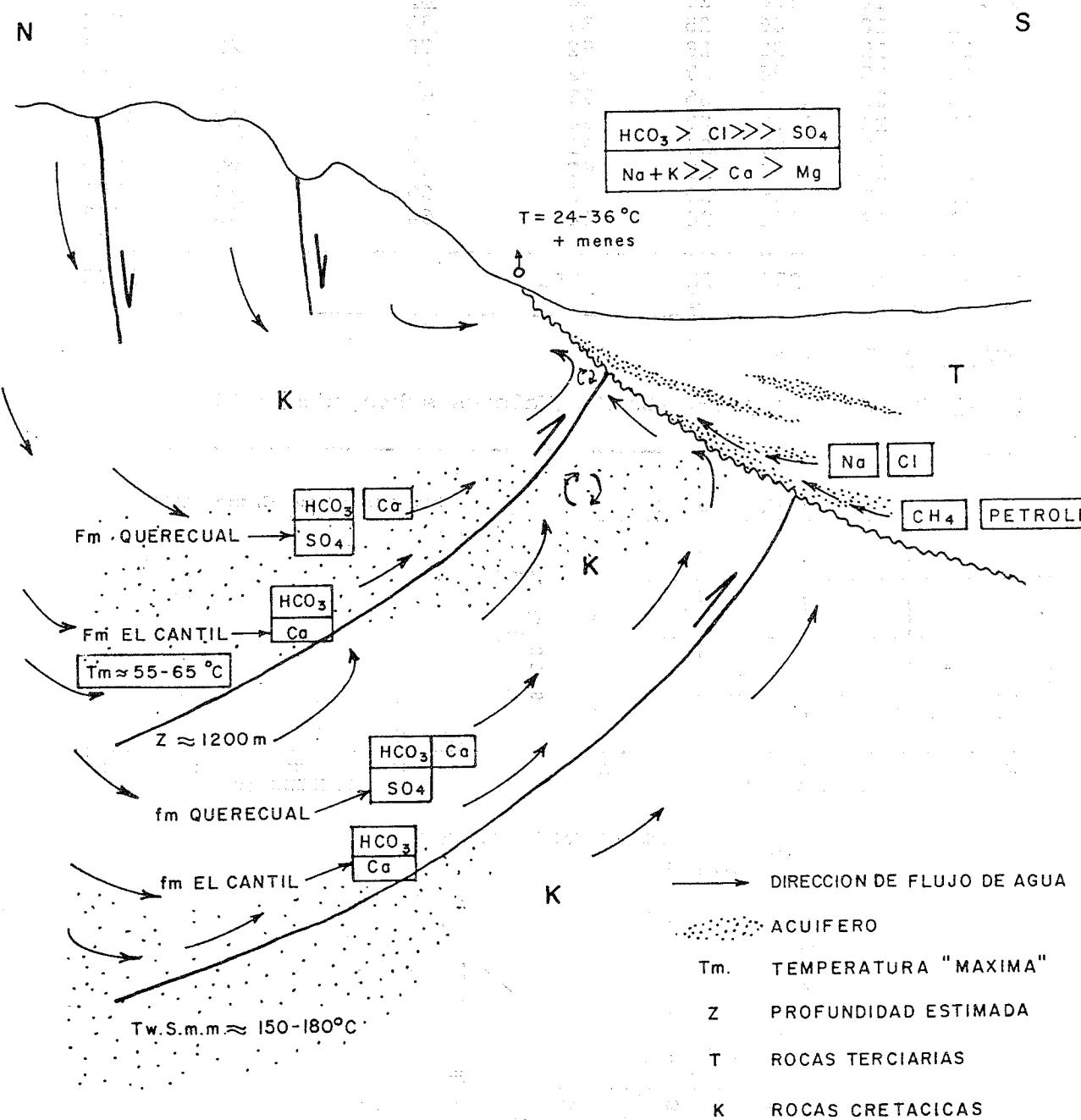


FIG.  
80

MODELO GEOLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES  
TERMALES DE LA DISCORDANCIA CRETACEO-TERCIA-  
RIO, QUIRIQUIRE-MONAGAS.



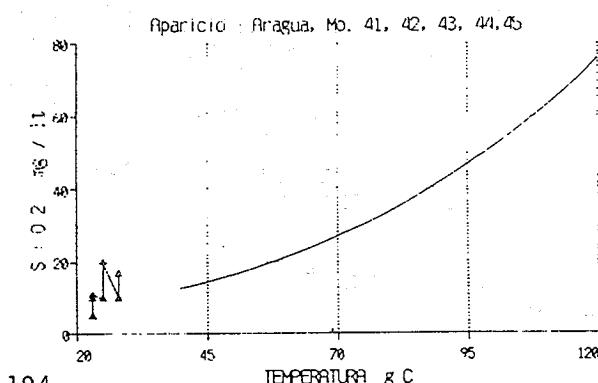
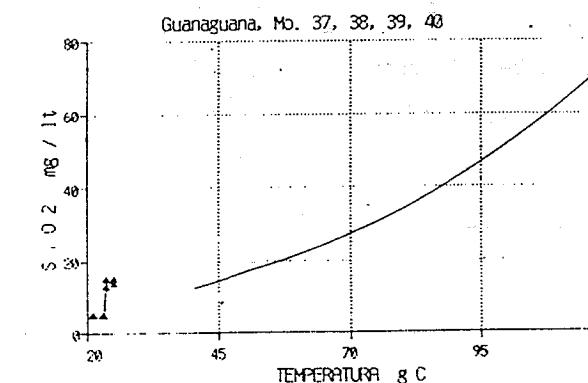
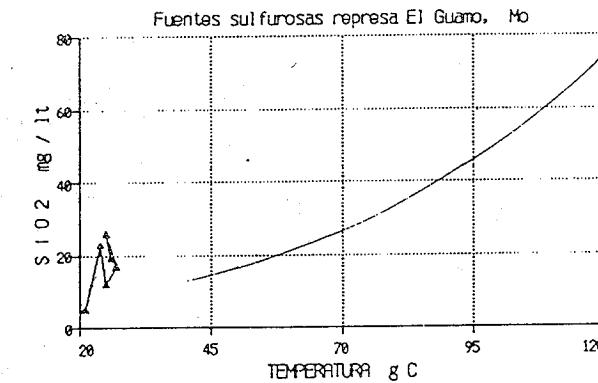
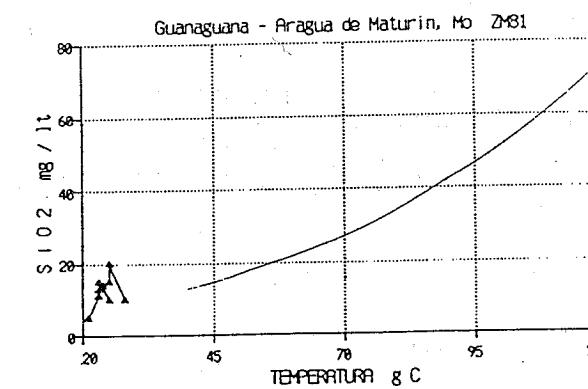
193

TABLA 18

Parámetros selectos y valores preferenciales para los datos de geotermómetros de las manifestaciones geotérmicas del área de la Falla de San Francisco, Estado Monagas

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	T cz	T <sub>Na-K-Ca</sub>	T <sub>Na-K-Ca-Mg</sub>	TSD
Mo. 30	17	11	25	57	34	-	361
31	17	12	25	57	37	-	358
32	17	6	25	57	19	-	322
33	23	5	24	69	20	-	289
34	36	7	25	87	23	-	372
35	12	10	25	44	22	-	238
36	19	5	26	61	19	-	377
37	15	5	25	52	24	-	355
38	15	9	23	52	26	-	367
39	13	5	23	47	19	-	238
40	14	3	25	50	13	-	179
41	10	18	25	37	38	-	508
42	20	20	25	63	46	25	580
43	17	39	28	57	60	48	420
44	10	34	28	37	80	28	384
45	11	6	23	41	9	-	594
Prom.	17	12	25	54	30	-	371
des.est.	6	11	1	13	19	-	133

PROMEDIO T<sub>Na-K-Ca</sub> ó T<sub>Na-K-Ca-Mg</sub> (Si lo hay) = 25°C



194

FIG.

81

MODELO GEOLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES TERMALES ASOCIADAS A LA FALLA DE SAN FRANCISCO, MONAGAS.

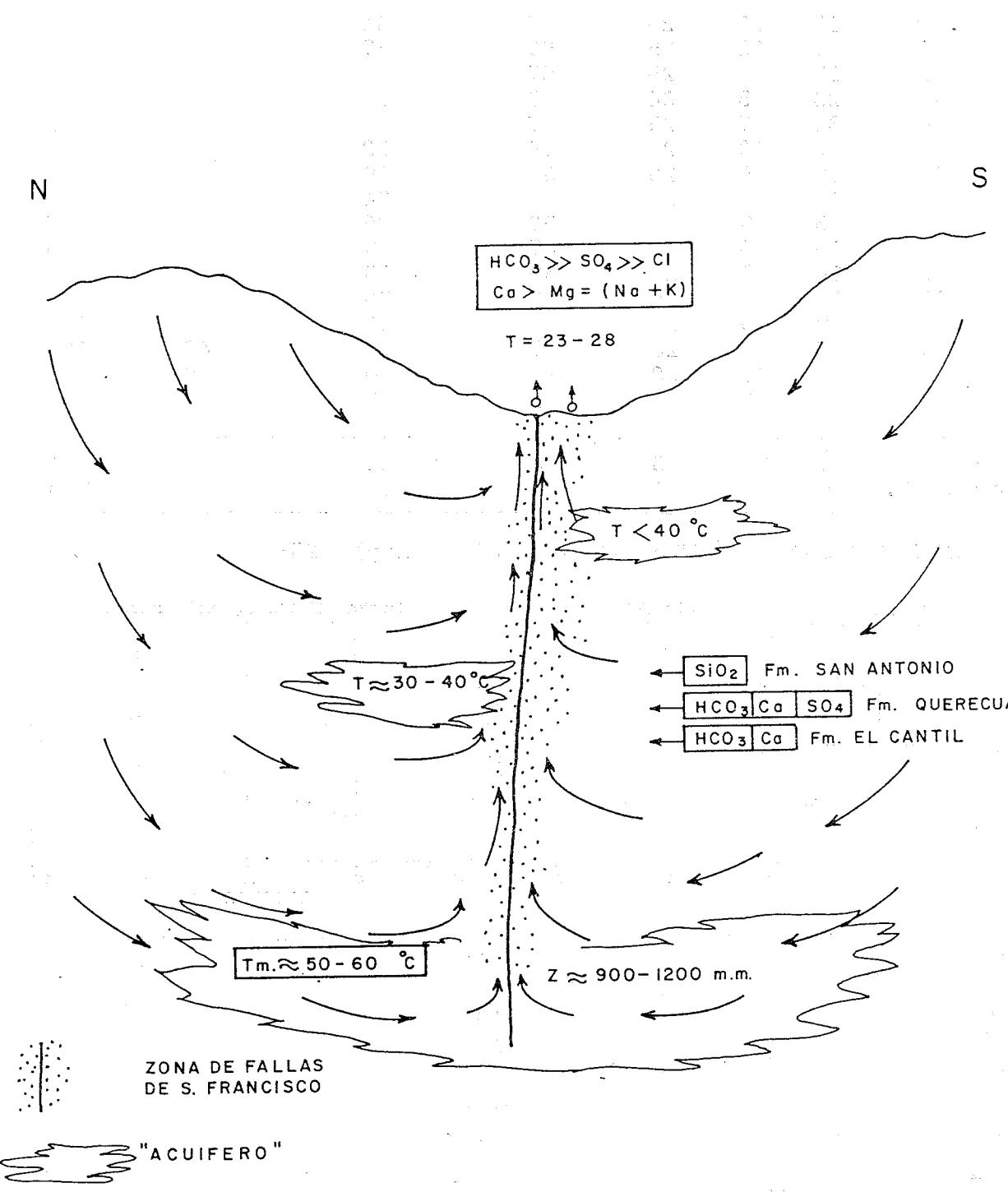
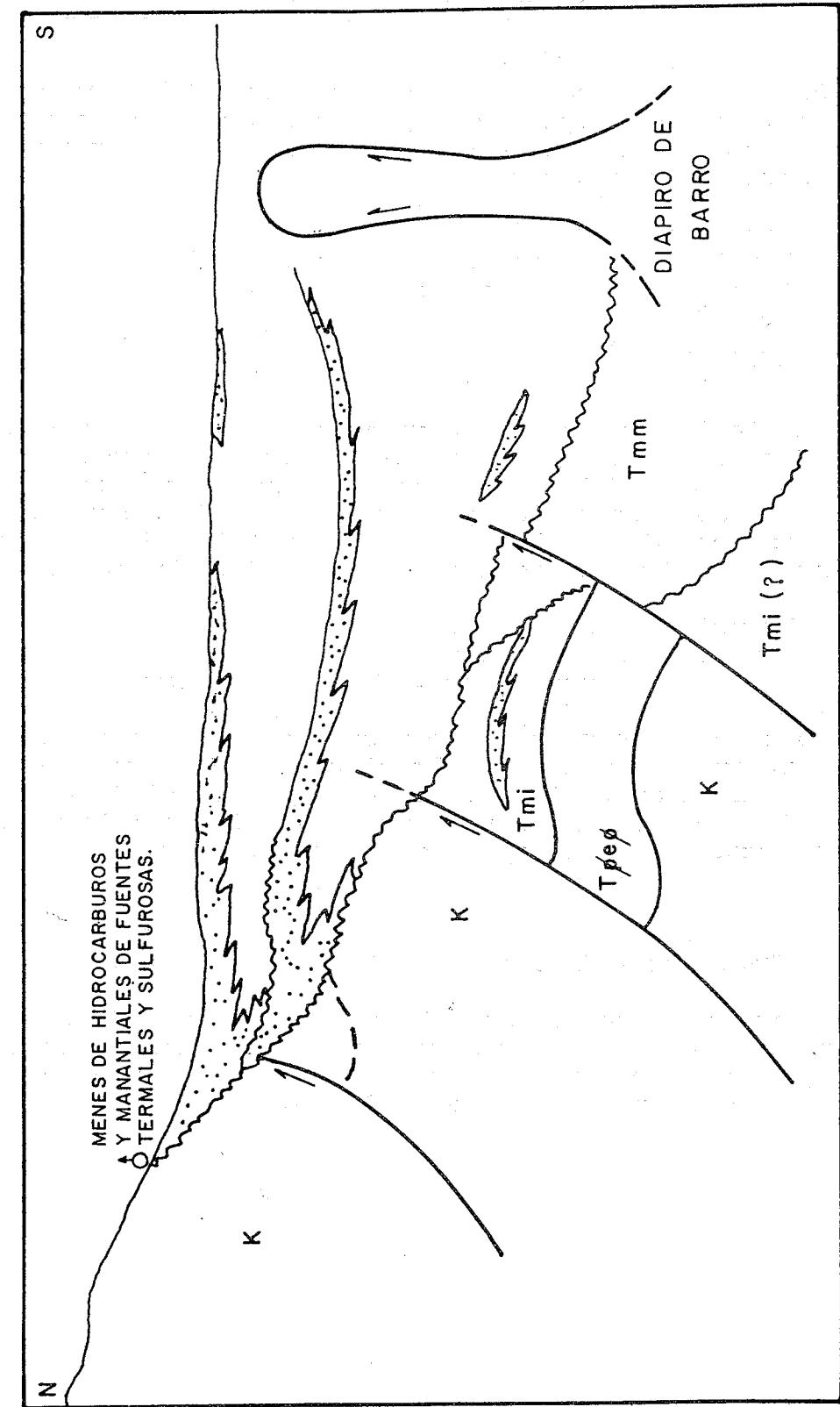


FIG. 82 CROQUIS INDICANDO LA ESTRUCTURA GENERALIZADA DEL FLANCO NORTE DE LA SUBCUENCA DE MATORIN, CON LOS TIPOS DE ACUMULACIONES DE HIDROCARBUROS.



#### 4.3. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DEL OCCIDENTE DEL MACIZO ORIENTAL, ESTADO ANZOATEGUI.

En las estribaciones occidentales del macizo montañoso oriental, se han localizado diversas zonas con manifestaciones geotérmicas o de manantiales frios sulfurosos. De norte a sur la agrupación es como sigue:

- Pozuelos y Provisor.
- San Diego, cuenca del río Neverí.
- Naricual, cuenca del río Neverí.
- Bergantín.
- Mundo Nuevo.
- Urica.

La tabla 19 presenta un resumen de las características y estimados con los geotermómetros químicos para cada zona, y en las figs. 83 a 86, se presentan varios gráficos que permiten analizar las diferencias y semejanzas. Esta información junto a los diagramas de D'AMORE (figs. IIIf235-237) permiten agrupar estas zonas de manifestaciones por sus afinidades, como sigue:

- Pozuelos y Provisor.
- San Diego [y Clarines].
- Bergantín, Mundo Nuevo, Urica y Naricual.

De esta agrupación es necesario observar que las fuentes de Clarines, aun cuando están localizadas en el estado Anzoátegui, están ubicadas en la faja volcada de la Cordillera de la Costa, y las fuentes de Naricual no se asocian muy bien en el grupo citado, pero es con el que tienen más afinidad.

##### 4.3.1. Pozuelos y Provisor. (IIIt70, 159, f235).

Estos son manantiales tibios (cerca de 34 °C) y de los valores estimados por geotermómetros químicos (tabla 20), se concluye que no proceden de acuíferos con temperaturas mucho mayores que las medidas en superficie.

Tabla 19 RESUMEN DE SISTEMAS GEOTERMICOS DEL ESTADO ANZOATEGUI

S I S T E M A	n	Tem. Campo $\bar{X}$ (min.-max.)	TSiO <sub>2</sub>	TEMPERATURAS EN EL SUBSUELLO Na-K-Ca modelo mezcla	T.S.D. (Prom.)	F H prom.	TIPO DE AGUA
Clarines	5	37 (26-53)	60-70	65	313	6,7	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub>
Mundo Nuevo	6	24 (24-26)	40-50	-	306	6,9	Na+K >> Mg > Ca
Urica	1	36	65-70	-	270	7,1	HCO <sub>3</sub> >> Cl >> SO <sub>4</sub>
Bergantín-Quererecuall	12	23 (23-24)	30-45	-	447	6,9	ECO <sub>3</sub> >> Cl > SO <sub>4</sub>
San Diego-La Toma	10	42 (23-52)	55-70	108	432	6,7	Na+K >> Ca > SO <sub>4</sub>
Naricual-Aragüita	3	34 (26-45)	45-65	-	933	7,2	ECO <sub>3</sub> = Na+K > SO <sub>4</sub>
Pozuelos-Provisor	3	33 (33-34)	35-40	-	454	6,8	ECO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> >> Cl Ca >> Mg > Na-K

FIG.

83. DIAGRAMA DE PIPER  
SISTEMAS GEOTERMICOS DEL  
EDO. ANZOATEGUI

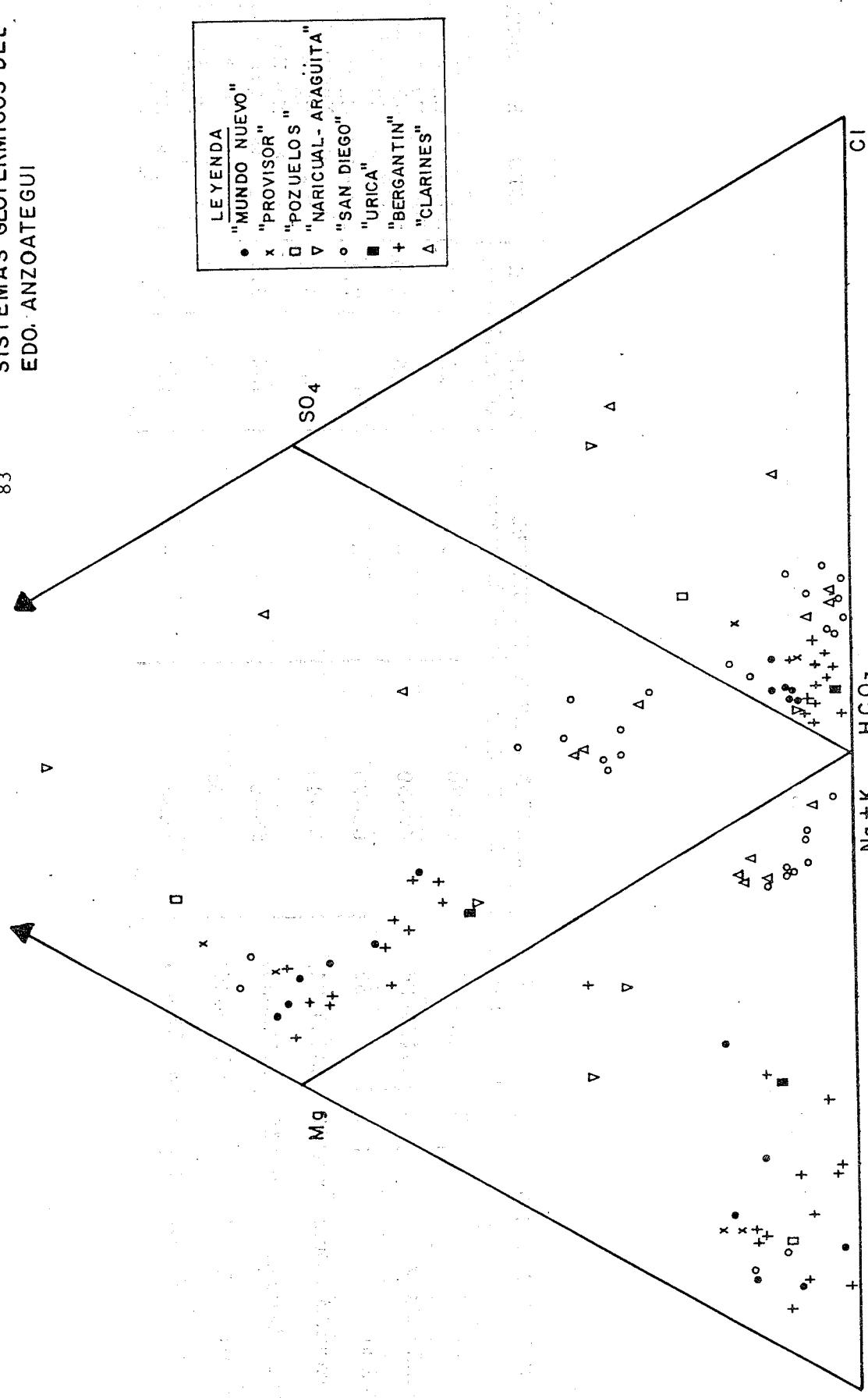
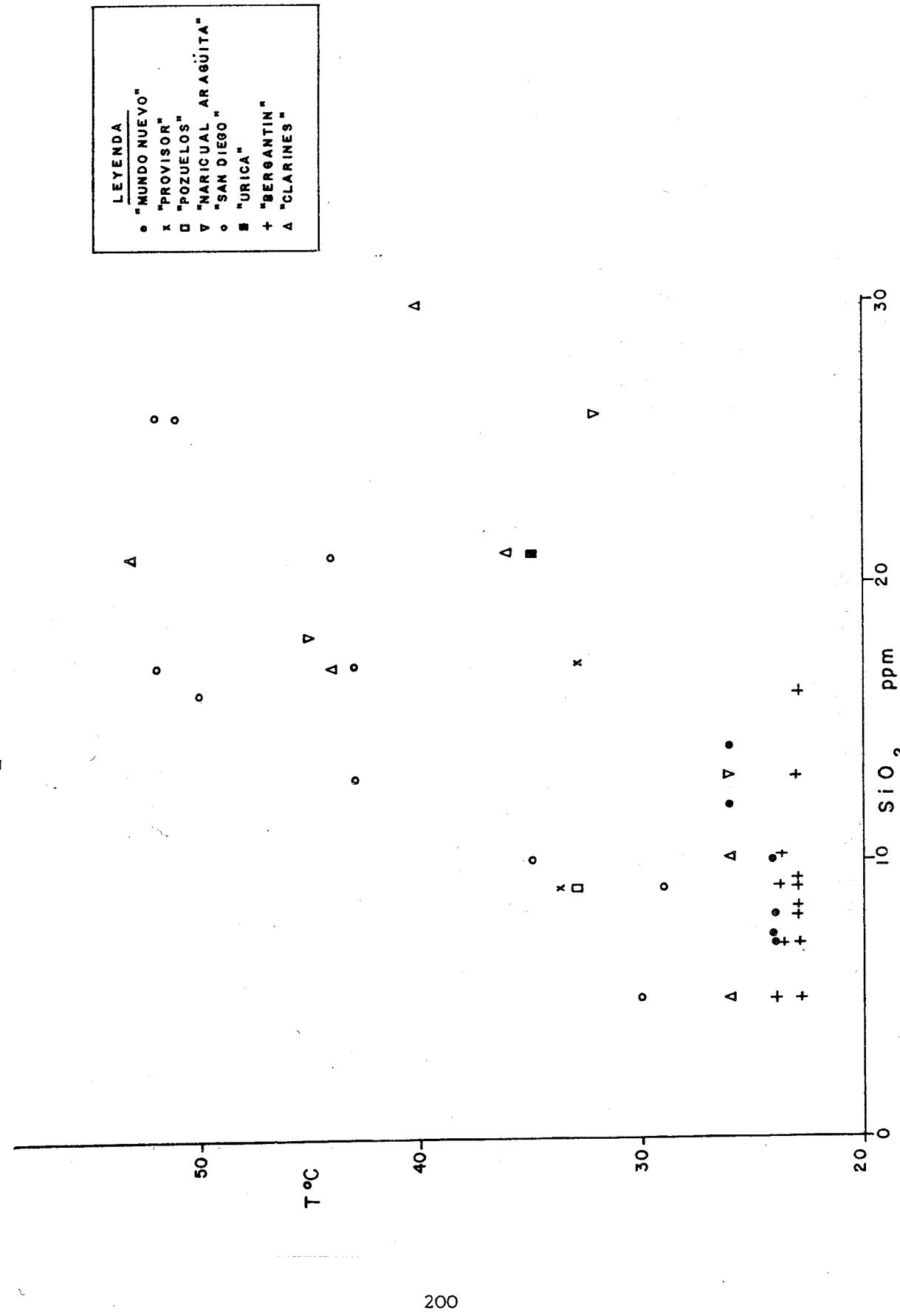
FIG. 84. T vs.  $\text{SiO}_2$  EN SISTEMAS GEOTERMICOS DEL EDO. ANZOATEGUI

FIG. 85 RELACION T VS CI SISTEMAS GEOTERMICOS EDO. ANZOATEGUI

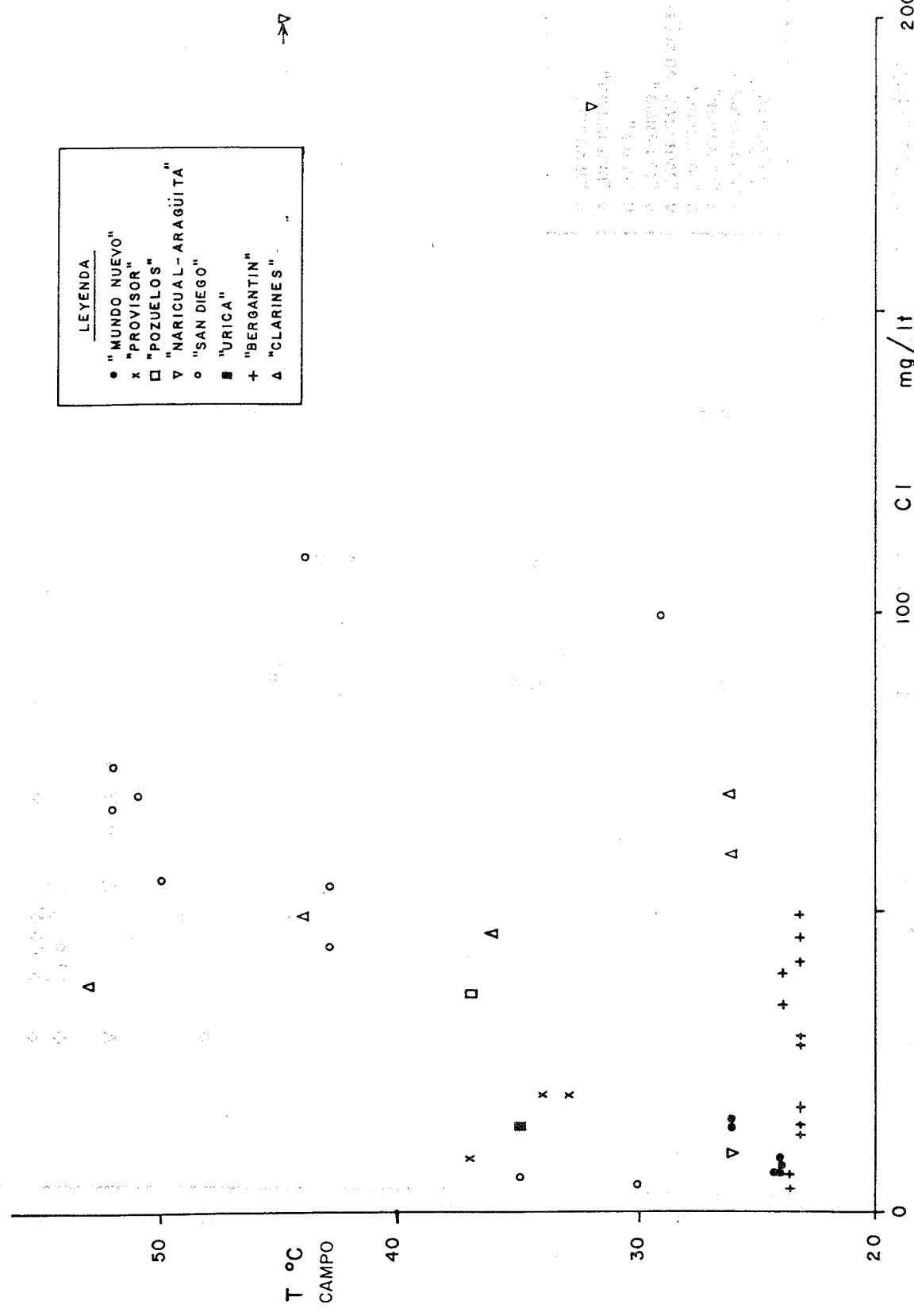
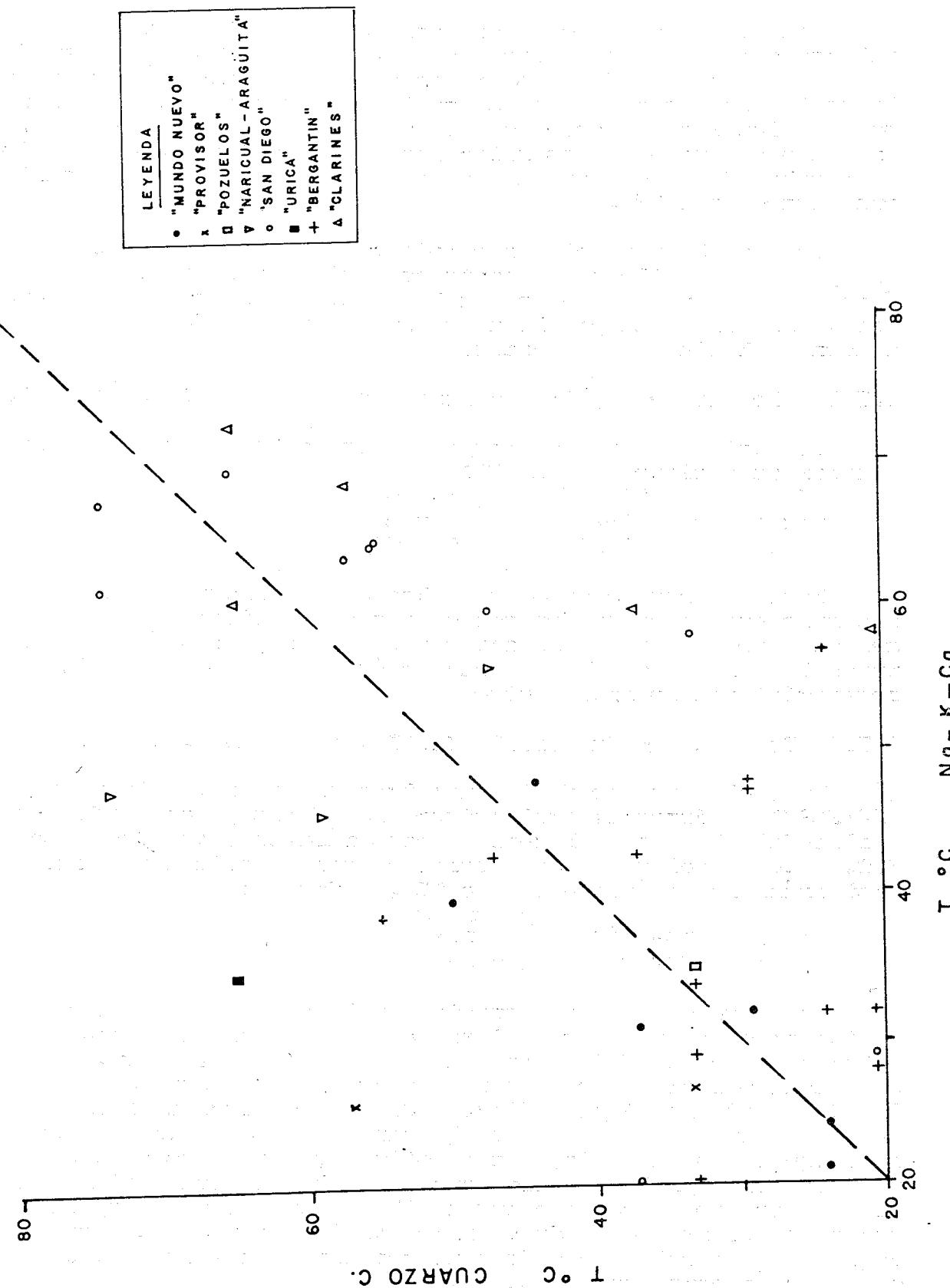


FIG. 86 RELACIONES ENTRE LAS DETERMINACIONES GEOTERMOMETRICAS Na - K - Ca y CUARZO, EDO. ANZOATEGUI



**4.3.2. San Diego - La Toma, cuenca del río Neverí.** (IIt71, 161, f235).

Las manifestaciones geotérmicas de esta área son las mas calientes de toda la región [ $t(c) = 23-52^{\circ}\text{C}$ , media =  $42^{\circ}\text{C}$ ], y los estimados de los geotermómetros químicos dan valores bastante semejantes, con lo cual interpretamos valores máximos en el intervalo siguiente:  $t(cz) = t(alc) = 55-70^{\circ}\text{C}$ . Un análisis en base a las relaciones  $T$  vs.  $\text{SiO}_2$  y vs.  $\text{Cl}$ , sugieren la posibilidad de mezclas de aguas en el subsuelo, resultando que  $t(wsmm) = 108^{\circ}\text{C}$ .

La fig. 87 presenta un modelo del sistema geotérmico, donde la parte A refleja el contexto geológico aproximado para el área, y en la parte B el ciclo hidrológico generalizado para el área, indicando las posibles combinaciones desde las zonas mas profundas hasta la superficie.

**4.3.3. Naricual-Aragüita, cuenca río Neverí.** (IIt73, 164, f236).

La información de campo y de geotermómetros la podemos resumir como sigue (tabla 22):

$t(c)$	= $26-45^{\circ}\text{C}$	promedio
$t(cz)$	= $47-74$	$t = 60$
$t(alc)$	= $46-56$	$t = 50$

Estos intervalos son bastante concordantes, y los interpretamos conservadoramente como indicativos de temperaturas máximas del posible reservorio entre  $45$  y  $65^{\circ}\text{C}$ . La fig. 88 presenta un modelo de circulación que puede explicar las características de este sistema.

**4.3.4. Bergantín - Querecual.** (IIt74, 166, f236).

En esta área se distinguen tres sectores con fuentes frias ( $24-26^{\circ}\text{C}$ ) sulfurosas: Montecristo, Las Minas y Paso Hediondo (no analizado). Son aguas bicarbonatadas cárnicas, con fuerte olor a  $\text{H}_2\text{S}$ . Los valores de temperaturas estimados con los geotermómetros químicos (Tabla 23), indican:

promedio		
$t(cz)$	= $24-55^{\circ}\text{C}$	$t = 32^{\circ}\text{C}$
$t(alc)$	= $24-39$	$t = 39$

Estos valores nos permiten interpretar una temperatura máxima en el acuífero que alimenta a los manantiales, en el intervalo de  $30-45^{\circ}\text{C}$ . Los diagramas  $T$  vs.  $\text{SiO}_2$  y vs.  $\text{Cl}$ , no presentan evidencia como para presumir enfriamiento por mezcla. El diagrama de Piper (fig. 90) si sugiere cierto grado de mezcla [para producir una la variación desde concentraciones casi iguales en  $\text{Na}$  y  $\text{Ca}$ , hasta definitivamente mas cárnicas]. De ser esta interpretación correcta, quizás la temperatura de los dos tipos de agua sea muy similar; otra posible explicación, sería un diferente grado de interacción con rocas calcáreas. La fig. 89 presenta un modelo esquemático donde se propone una explicación para este sistema.

**4.3.5. Mundo Nuevo, río Amana.** (IIt75, 168, f237).

Esa área solo tiene manantiales de aguas frias [ $t(c) = 24-26^{\circ}\text{C}$ ] sulfurosas, donde las temperaturas estimadas con los geotermómetros químicos (tabla 24), de  $t(cz) = t(alc)$ , sugieren una temperatura máxima en el intervalo de  $40-50^{\circ}\text{C}$ .

Las figs. 83 y 91 muestran el diagrama de Piper, donde hay una clara relación lineal, muy semejante a la observada para las muestras de Bergantín-Querecual (fig. 90), y la explicación de ello puede ser similar a la adelantada en ese caso. La poca variación de  $T$  y  $\text{SiO}_2$ , impide evaluar el posible proceso de mezcla en forma adecuada (vease el gráfico  $T$  vs.  $\text{SiO}_2$  en la tabla 24).

La fig. 92 presenta un modelo con el cual se propone explicar este sistema hidrológico.

**4.3.6. Urica.** (IIt76, 168, f237).

Estas fuentes sulfurosas tibias permiten un estimado de temperatura máxima de  $t(cz) = t(alc) = 65-70^{\circ}\text{C}$ . En la zona en la cual brotan estos manantiales no se han cartografiado fallas a las cuales se las pueda relacionar, pero su cercanía (2 Km) a la zona de fallas de Urica hace presumir una relación con el ciclo hidrológico de las fuentes, lo cual se ha plasmado en la fig. 93.

**4.3.7. Aguas Calientes, Clarines.** (IIt69, 198, f247).

Estas fuentes junto a las del área de San Diego son las mas calientes del estado Anzoátegui [ $t(m) = 53^{\circ}\text{C}$ ]. Se han utilizado mucho para fines médicos y turísticos. Los geotermómetros químicos (tabla 25) permiten estimar las siguientes temperaturas:

promedios		
$t(cz)$	= $57-65^{\circ}\text{C}$	$t = 62^{\circ}\text{C}$
$t(alc)$	= $61-74$	$t = 68$

La tendencia lineal que presentan las muestras de esta área, en el diagrama de Piper (fig. 94) y en el gráfico  $\text{SiO}_2$  vs.  $T$  (fig. en tabla 25), permiten interpretar la existencia de mezcla en el subsuelo, resultando  $t(wsmm) = 65^{\circ}\text{C}$ , que es una temperatura que cae dentro de los mismos intervalos indicados por los demás geotermómetros, lo cual sugiere que no hubo reequilibrio agua - roca despues de la mezcla.

La fig. 95 presenta un modelo esquemático para el sistema geotérmico de esta localidad.

TABLA 20

Parámetros selectos y valores preferenciales para los geotérmos del área de:

I. POZUELOS, Estado Anzoátegui

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca	TSD
An 15	9	37	33	34	35	566
<b>II. PROVISOR, Estado Anzoátegui</b>						
An 31A	17	20	33	57	26	292
31B	9	20	34	34	28	279

TABLA 21

Parámetros selectos y valores preferenciales para los geotérmos del sector San Diego-La Toma, Río Neverí, Anzoátegui

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca	TNa-K-Ca-Mg	TSD
An.23	21	110	44	65	71	-	641
24	13	55	43	47	60	-	399
25	9	100	29	33	58	-	596
26A	17	45	43	57	65	-	394
26B	26	75	52	74	63	-	554
26C	26	70	51	74	69	53	502
26D	16	56	50	55	66	61	469
27	4	5	23	5	-	-	66
28	17	68	52	57	65	58	445
29	10	6	35	37	-	-	267
Prom.	15	59	42	50	65	-	432
Des.est.	9	34	11	22	9	-	171

Promedio de TNa-K-Ca o TNa-K-Ca-Mg (si lo hay) = 61 °C

FIG.

87

MODELO GEOLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES TERMALES DEL SECTOR SAN DIEGO-LA TOMA, CUENCA DEL RIO NEVERI - ANZOATEGUI.

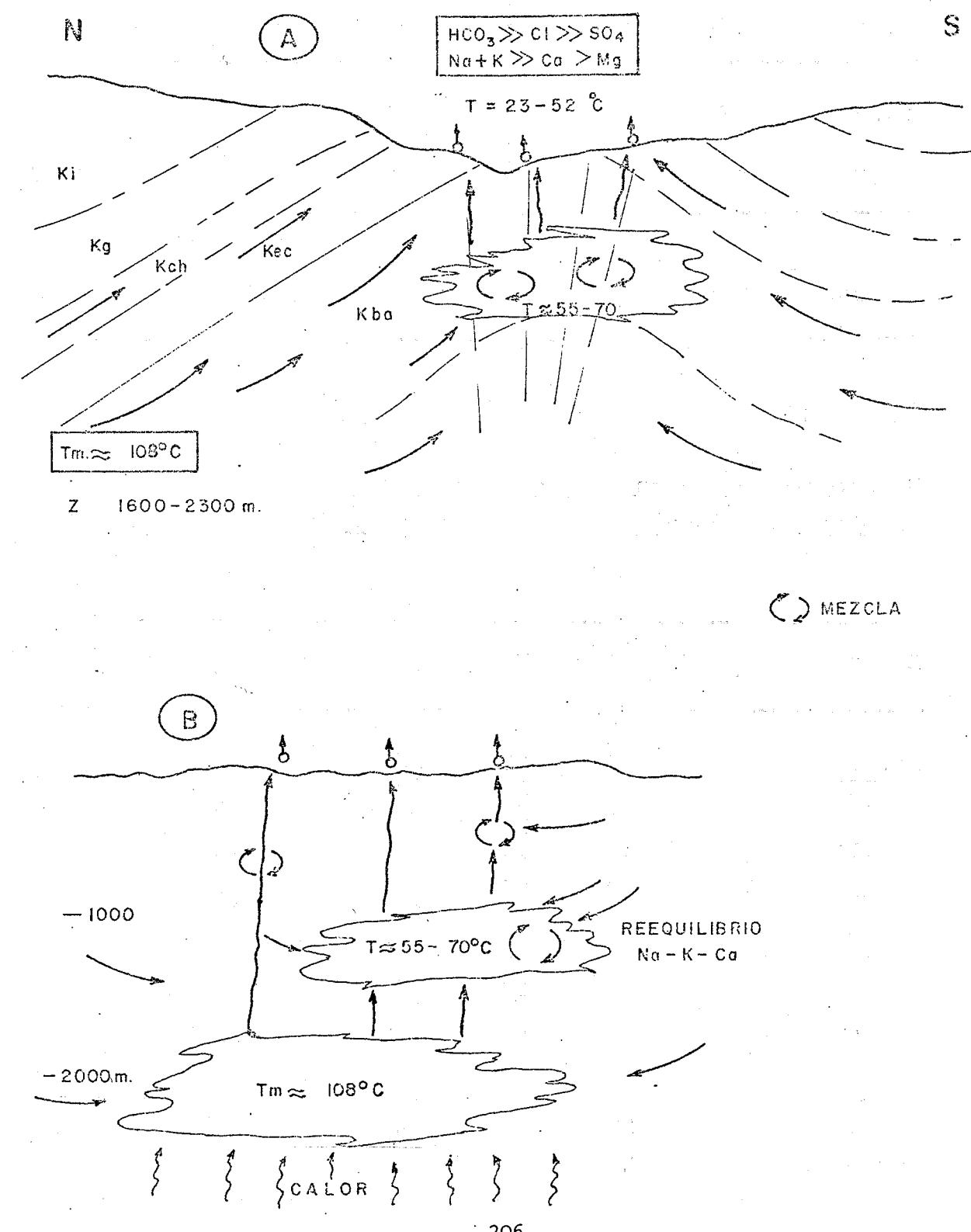


TABLA 22

Parámetros selectos y valores preferenciales para los geotérminetros del sector Naricual-Araguita, Río Naricual-Anzoátegui

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca-Mg	TSD
An.18	13	10	26	47	56	538
19	18	650	45	59	46	1080
22	28	185	32	74	48	1160
Prom.	19	285	34	60	50	926
des.est.	6	331	11	13	5	338

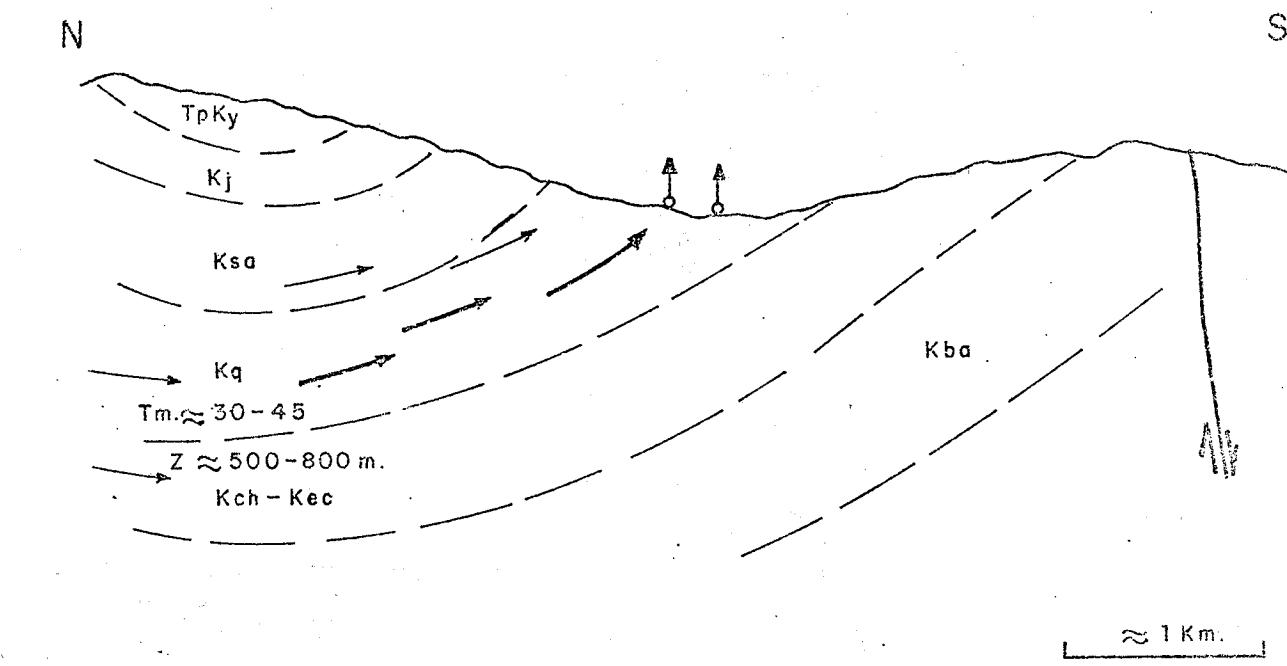
TABLA 23

Parámetros selectos y valores preferenciales para los geotérminetros del área Bergantin-Querecúal, Estado Arzoátegui

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca	Mg	TSD
An. 9	7	13	23	25	32	-	339
10A	16	18	23	55	39	-	460
10B	9	42	23	34	45	-	609
10C	8	50	23	30	49	-	497
11	8	46	23	30	49	-	509
12	7	40	24	25	57	24	457
12M	5	28	23	13	32	23	414
13	10	35	24	38	43	-	486
14	13	29	23	47	43	-	525
20	9	13	23	34	30	-	495
16	5	6	24	13	29	-	279
17	9	4	24	34	20	-	289
Prom.	8	27	23	32	39	-	447
des.est.	5	15	4	12	11	-	99

FIG.  
89

MODELO GEOLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES TERMALES DEL AREA DE BERGANTIN- QUERECUAL ANZOATEGUI



#### FUENTES: SECTOR MONTECRISTO

$\text{HCO}_3 >> \text{Cl} > \text{SO}_4$        $\text{Ca} > \text{Na} + \text{K} > \text{Mg}$

INFLUENCIA MAYOR      Tp Ky, Kj, Ksa y Kq

#### SECTOR LAS MINAS

$\text{HCO}_3 >>> \text{SO}_4 > \text{Cl}$        $\text{Ca} >> \text{Mg} > \text{Na} + \text{K}$

INFLUENCIA MAYOR      Kq

ACUIFEROS = FUNDAMENTALMENTE POR FRACTURAMIENTO DE LAS ROCAS

FIG. MODELO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES  
TERMALES DE NARICUAL-ARAGUITA,  
ANZOATEGUI

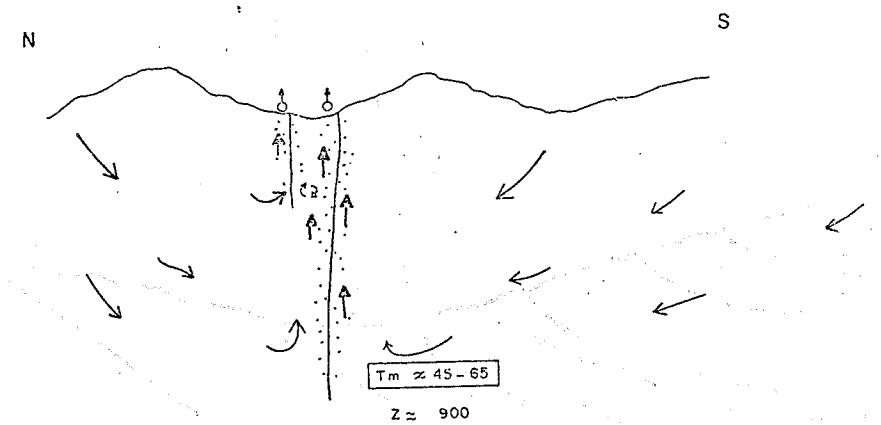


FIG. DIAGRAMA DE PIPER PARA  
LAS MUESTRAS DE LA ZONA  
DE BERGANTIN

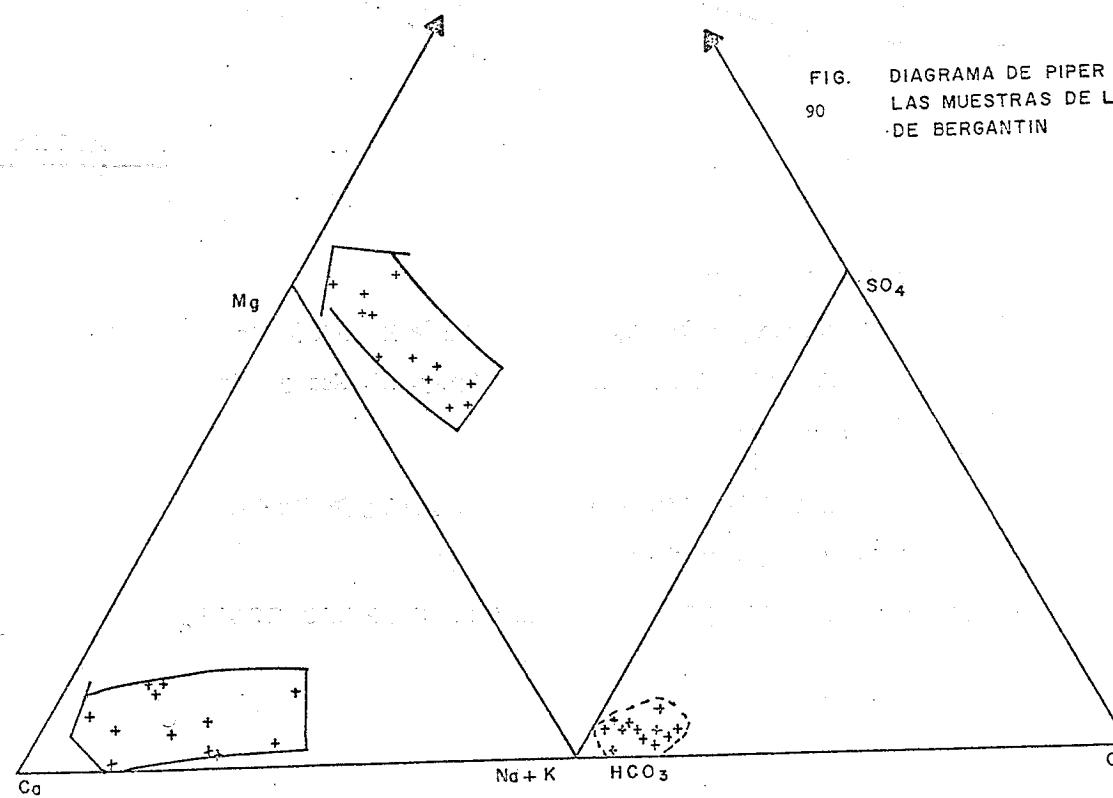


TABLA 24

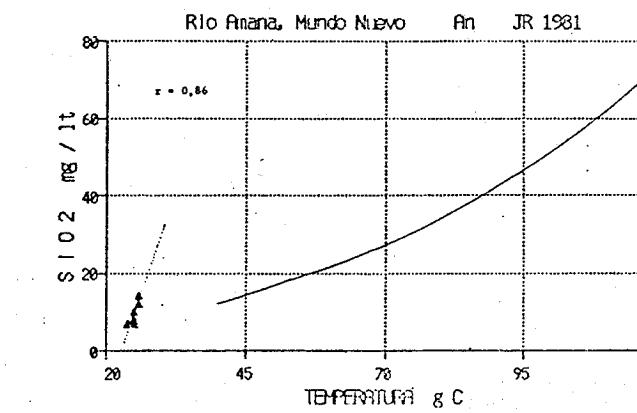
Parámetros selectos y valores preferenciales para los geotermómetros del área: I. Mundo Nuevo, Río Amana, Anzoátegui

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca	TSD
Am. 1	12	16	26	44	48	299
2	14	15	26	50	40	411
3	7	7	24	25	21	247
4	7	8	25	25	25	281
5	10	7	25	38	32	321
6	8	9	25	30	32	277

Prom.	9	10	25	35	33	306
Des.est.	4	4	1	9	10	57

## II. Bajo del Indio, Urica, Estado Anzoátegui

An. 7	21	15	36	66	39 (68)	270
-------	----	----	----	----	---------	-----



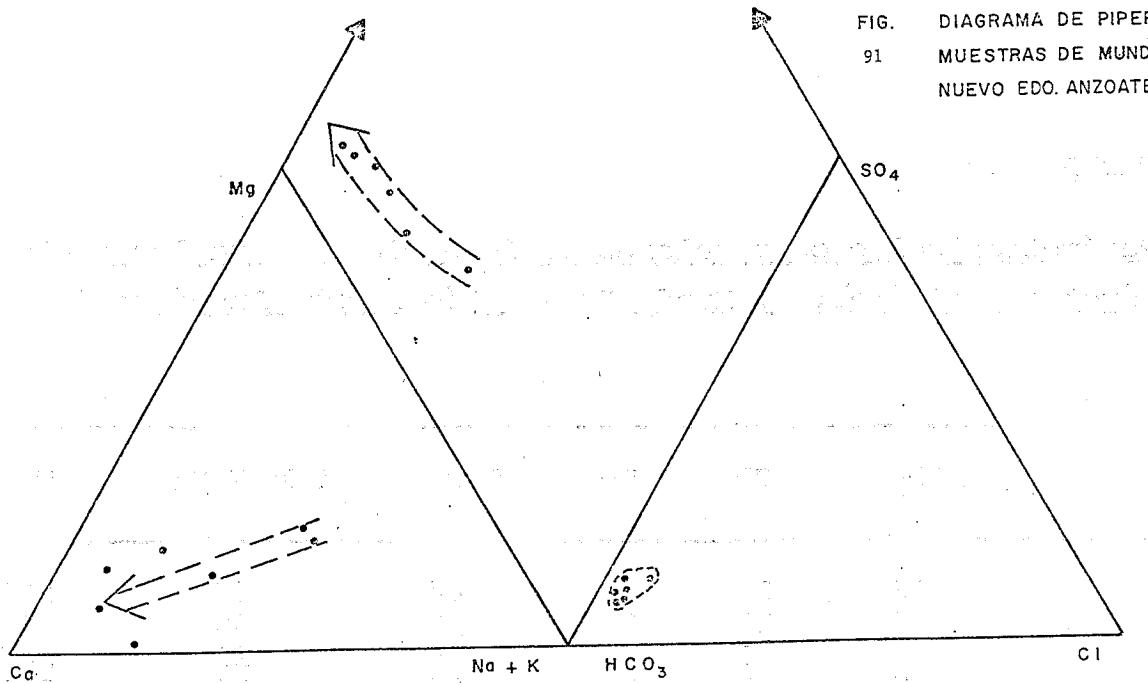


FIG.  
91  
DIAGRAMA DE PIPER  
MUESTRAS DE AGUA  
NUEVO EDO. ANZOATEGUI

FIG. 93  
MODELO GEOLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES  
TERMALES DE URICA, ANZOATEGUI

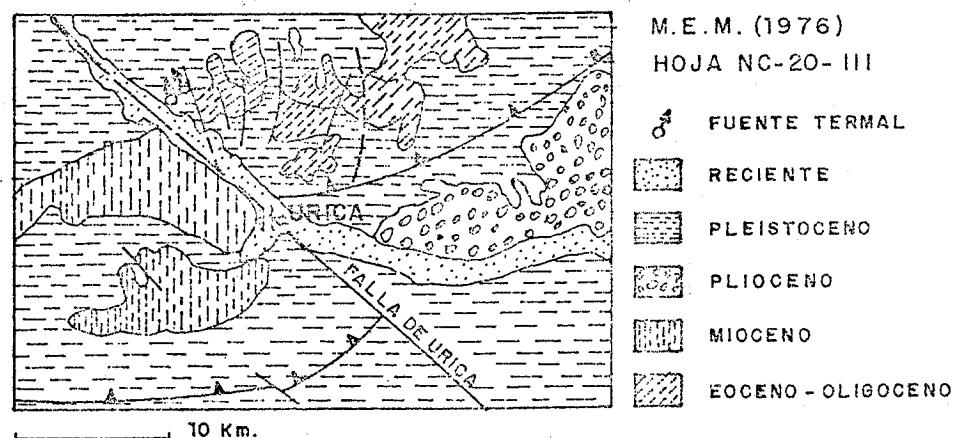
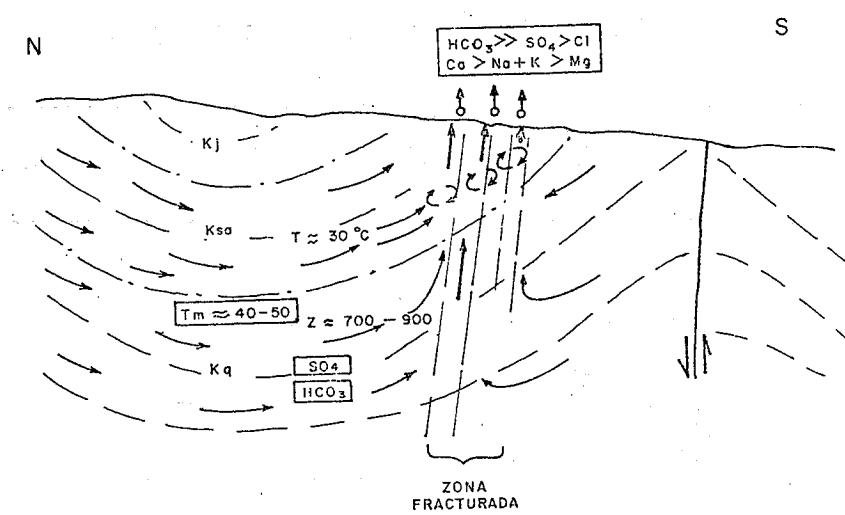


FIG.  
92  
MODELO GEOLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES TER-  
MALES DE MUNDO NUEVO, RIO AMANA, ANZOATEGUI.



ZONA DE MEZCLA  
KJ FORM. SAN JUAN  
Ksa FORM. SAN ANTONIO  
Kq FORM. QUERECUAL  
ACUFEROS: FUNDAMENTALMENTE POR FRACTURAMIENTO DE LAS ROCAS.

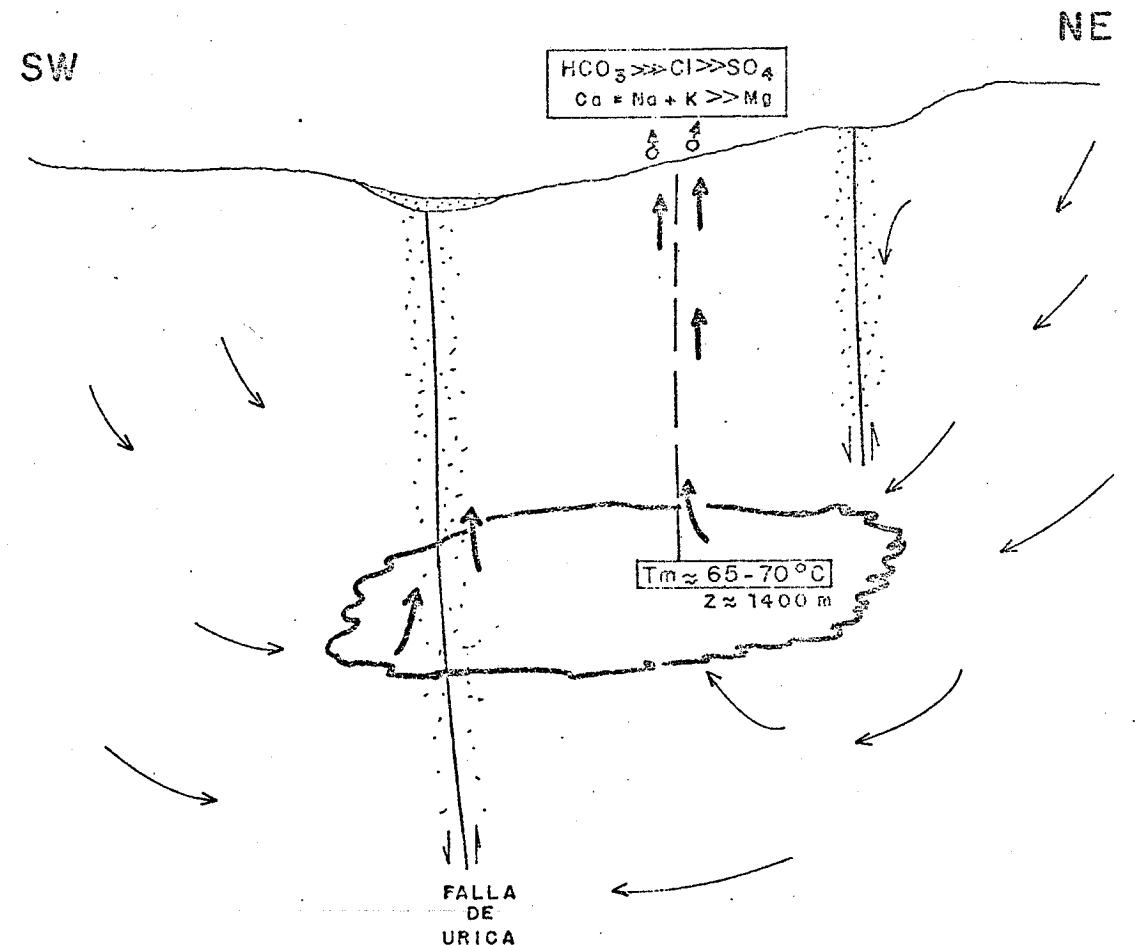


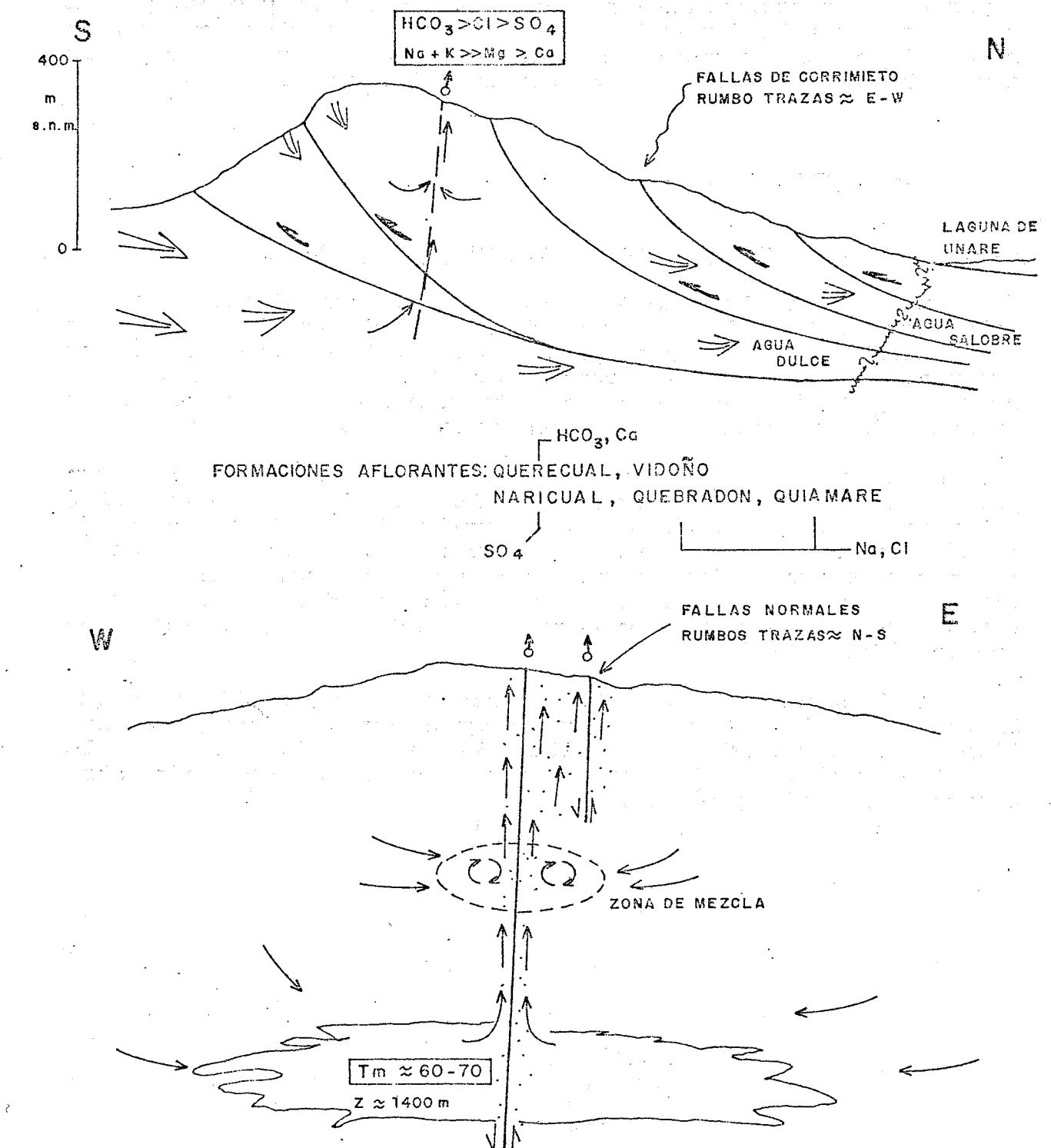
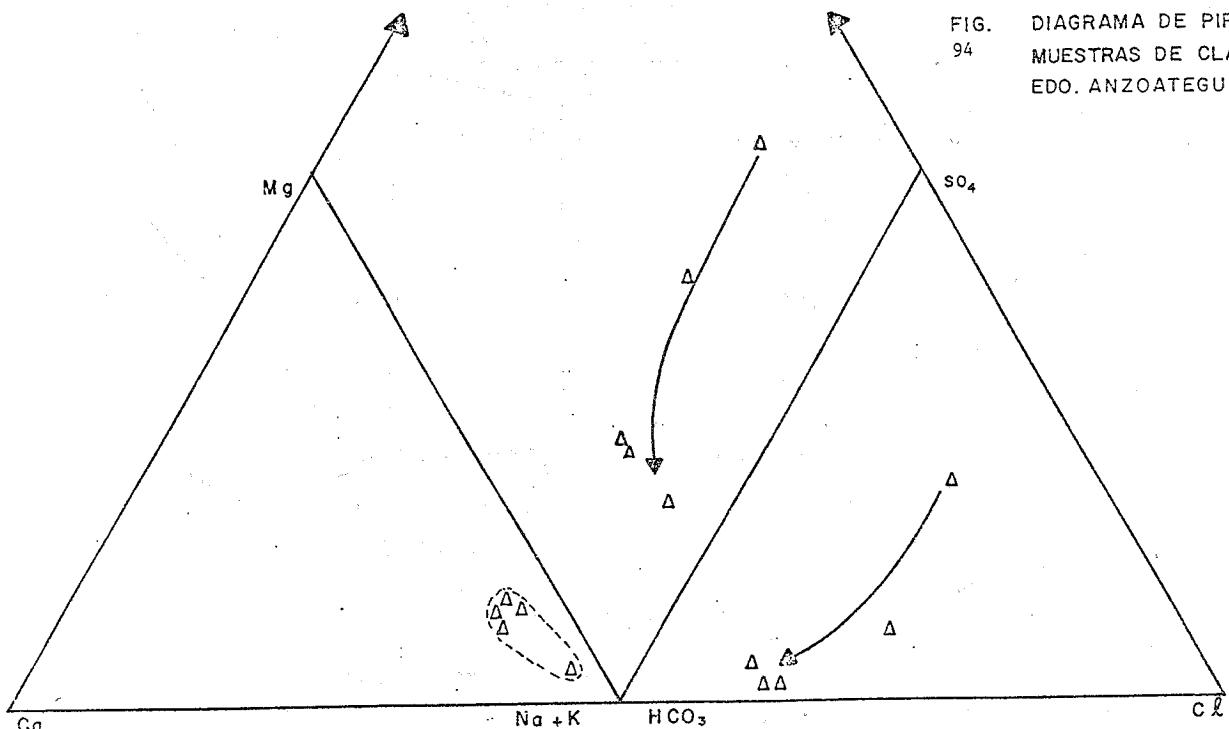
FIG. 95 MODELO GEOLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES TERMALES DE AGUAS CALIENTE, CLARINES, ANZOATEGUI

TABLA 25

Parámetros selectos y valores preferenciales para los geotermómetros del área de Clarines, Anzoátegui

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca	TSD
Am. 34	21	47	37	65	74	328
35.	17	50	44	57	70	429
36	21	38	53	65	61	253
Prom.	20	45	45	62	68	319

FIG. 94  
DIAGRAMA DE PIPER  
MUESTRAS DE CLARINES  
EDO. ANZOATEGUI



### III. REGION CENTRAL (CORDILLERA DE LA COSTA)

#### 4.4. ESTADO NUEVA ESPARTA.

Los tres manantiales sulfurosos conocidos del estado Nueva Esparta, no presentan análisis físico-químicos completos, por lo tanto no se pueden hacer interpretaciones de geotermómetros. En ellas llama la atención el alto contenido de Mg, lo cual es explicable por brotar de un cuerpo de rocas ultramáficas.

#### II.- REGION SUR.

#### 4.5. ESTADO BOLIVAR Y TERRITORIO FEDERAL AMAZONAS.

En esta vasta región solo se conocen dos manantiales calientes actualmente activos, en la zona de San Jacinto, cerca de Ciudad Piar y en Yopri Upé (Platanal), Alto Orinoco. Ambas con temperaturas posibles cercanas a 40 ó 60°C. Lamentablemente no se dispone de ningún otro tipo de información que permita una explicación adecuada de estas manifestaciones.

Para el caso de San Jacinto, por conversaciones con profesionales de la empresa FERROMINERA DEL ORINOCO C.A., sugieren que estas aguas calientes puedan deberse a un efecto de insolación en la zona de infiltración de los cerros cercanos, los cuales están cubiertos por mineral de hierro. Señalan como ejemplo, que en horas del medio día, el mineral de hierro alcanza tal temperatura que llega a fundir las suelas de goma del calzado.

En Platanal, T.F.A. la situación es muy distinta ya que la fuente brota al pie de una pequeña serranía con rocas de tipo Roraima, rodeada de granitos. Hay un gran lineamiento a lo largo de unos 70 Km del río Orinoco, pero no se puede adelantar ninguna hipótesis genética.

#### 4.6. FAJA COSTERA

En la zona costera de la Cordillera de la Costa se encuentran tres localidades de interés geotérmico, cuyas características se resumen en la tabla 26 y un diagrama de Piper de las mismas se presenta en la fig. 96.

##### 4.6.1. Chichiriviche, D.F. (IIt77, 173, f238).

Estas son fuentes muy calientes  $t_{(c)} = 73^{\circ}\text{C}$ , con contenidos altos de Cl y Na, por lo cual se postula cierto grado de mezcla con agua marina a profundidad.

La tabla 27 presenta un resumen de los estimados por los geotermómetros químicos,

promedios

$t_{(cz)}$	= 108-115°C	$t$ = 110°C
$t_{(\text{Na-K-Ca})}$	= 170-190	$t$ = 182
$t_{(\text{Na-K-Ca-Mg})}$	= 143-152	$t$ = 147

Por otra parte, las relaciones de  $T$  vs. componentes químicos, dan coeficientes de correlación altos y significativos (tabla 28) lo cual es indicador de procesos de enfriamiento por mezcla. La evaluación del modelo de mezcla de fuentes tibias (wsmm) da los siguientes resultados:

	$t_{(wsmm)}$
Muestras de 1969-1979	150°C
Muestras de 1982 (todas)	171
Muestras de 1982 (menos agua fria)	122

Esto da un intervalo de  $t_{(wsmm)} = 150-170^{\circ}\text{C}$ . Si se aplican los criterios del modelo de mezcla para fuentes de aguas hirviendo, se pudiera sugerir temperaturas cercanas a 200°C (fig. 97). Finalmente, se nota que hay una gran coincidencia entre  $t_{(wsmm)}$  y  $t_{(\text{alc})}$ , por lo que se interpreta conservadoramente que la temperatura máxima del reservorio que alimenta a las fuentes termales está en el intervalo 145-165°C, sin que haya ocurrido reequilibrio de Na-K-Ca después de la mezcla.

Como se presenta en la tabla 28, en estas fuentes hay una fuerte correlación entre  $T$  y la mayoría de los componentes químicos. Con estas relaciones y utilizando una temperatura del reservorio de 155°C, se procedió a estimar la composición del agua caliente profunda, resultando con 128 ppm de SiO<sub>2</sub>, y un TSD

de 4310 ppm, Cl de 1025 y Na de 1690 ppm (tabla 28). También en la misma tabla se estiman los porcentajes de mezcla de cada una de las fuentes estudiadas, resultando estar constituidas por un 22 al 30 % del componente caliente, con 70 al 78 % del componente frío superficial.

En la fig. 98 se propone un modelo esquemático para este sistema geotérmico, donde se reunen las condiciones y resultados ya indicados.

Esta fuente al igual que otras de la Cordillera de la Costa tienen valores muy altos y anómalos de fluor.

#### 4.6.2. Quenepe, D.F. (IIt78, 172, f238),

Este en un grupo de manantiales fríos, de una composición química normal, en los cuales se puede estimar que la temperatura máxima alcanzada a través del ciclo hidrológico operante en la región es de 50°C.

La fig. 99 presenta un modelo esquemático del ciclo hidrológico del área, indicando el posible origen para los diversos componentes químicos presentes en el agua.

RESUMEN DE SISTEMAS GEOTERMICOS DE LA REGION CENTRAL

TABLA 26

SISTEMA	n	Tem. campo prom.(inter.)	TEMPERATURAS EN EL SUBSUELO SiO <sub>2</sub> / Na-K-Ca-Mg modelo mezcla	T.S.D. (PROM.)	P.H. prom.	TIPO DE AGUA
Caruao, D.F.	8	54 (42-71)	150-160 ( ≈ 145-155)	140	2740	Cl > SO <sub>4</sub> > HCO <sub>3</sub> Na+K > Mg > Ca
Chichiriviche, D.F.	6	67 (55-73)	145-170 ( ≈ 145-165)	150-170	1227	Cl > SO <sub>4</sub> = HCO <sub>3</sub> Na+K > Ca > Mg
Quenepe, D.F.	2	25	≈ 50	-	338	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub> Mg > Na+K > Ca
Trincheras, Ca..	6	47 (38-78)	≈ 170	210-220	526	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub> Na+K > Ca > Mg
Mariara, Ca.	3	46 (29-75)	120-130	160	318	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub> Na+K > Ca > Mg
El Castaño, Ar.	5	40 (39-42)	55-60	145?	145	HCO <sub>3</sub> > Cl = SO <sub>4</sub> Na+K > Ca > Mg
Tacata, Mi Los González	5	26 (21-30)	70-80	-	288	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub> Na+K > Ca > Mg
Las Malangas	2	26-29	≈ 30	-	143	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub> Na+K > Ca > Mg
Los Mijao	3	30	45-50	-	198	Cl > HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> Na+K > Ca > Mg
Turnero, Ar	1	26	≈ 60	-	209	SO <sub>4</sub> > HCO <sub>3</sub> > Cl Ca > Mg > Na+K
Guaresas, Mi	2	22 (21-23)	30 (75)	-	1660	7,2
Norte Serrania Inter- rior, Ca., Ar.	4	25 (24-28)	≈ 40 (≈ 85)	-	350	7,0
Crtiz, Calabozo, Gu	4	25 (21-28)	≈ 50 (≈ 80)	-	453	7,4
Guarumén, Gu.	6	37 (30-47)	≈ 70	110-120	45	5,4
Taguay, Ar.,Gu.	2	25-28	≈ 30 (60)	-	210	6,9

TABLA 26. Continuación

SISTEMA	n	Tem. campo prom. (intervalo)	TEMPERATURAS EN EL SUBSUELO SiO <sub>2</sub> /Na-K-Ca-Mg	T.S.D. máximo mezcla	P.E. prom.	TIPO DE AGUA
San Juan de los Morros, Gu	3	34	70-85	-	332	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl Na+K>> Ca > Mg
Camoruquito	2	26	≈ 80	-	400	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Na+K >> Mg > Ca
Cerro Pelón	2	25-29	≈ 70	-	301	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Na+K>> Ca > Mg
Battatal, Mi	3	54 (53-57)	≈ 65	170	684	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub> Na+K>> Ca > Mg
Chupacero, Ar.	2	26	80 ( 110)	-	380	HCO <sub>3</sub> = SO <sub>4</sub> >> Cl Na+K>> Ca > Mg
San Sebastian	2	26	80 ( 110)	-	-	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub> Na+K > Ca > Mg
San Casimiro	2	26	80 ( 110)	-	-	HCO <sub>3</sub> = SO <sub>4</sub> Na+K>> Ca > Mg
Juan Diaz Barlovento, Miranda	4	37	95-105	-	464	C <sub>1</sub> > HCO <sub>3</sub> = SO <sub>4</sub> Na+K>> Ca > Mg
Casupo	1	24	50-60	-	310	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> = C <sub>1</sub> Na+K > Ca > Mg
Colonia Mendoza, Mi	2	26	60-80	-	1450	C <sub>1</sub> > SO <sub>4</sub> = HCO <sub>3</sub> Na+K>> Ca > Mg

TABLA 27

Parámetros selectos y valores preferenciales para los geotermómetros de las fuentes termales de Chichiriviche, D.F.

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca	TNa-K-Ca-Mg	TSD
DF-6	65	248	72	115	190	152	1310
7	57	287	51	108	189	143	1330
8	57	233	44	108	170	--	1040
Prom.	59	256	55	110	182	--	1227
des.est.	11	27	17	3	17	--	162
1971-6A	50	244	73	102	189	--	1050
6B	52	265	73	104	--	--	1000
1969	7	75	265	55	121	--	1260
Prom.	59	258	67	109	--	--	1103
des.est.	13	12	10	10	--	--	138

Modelo de mezcla de aguas de fuentes tibias ("W.S.M.M.")

SiO<sub>2</sub> vs. H

1969-79 r=0,77

Twsmm (°C)

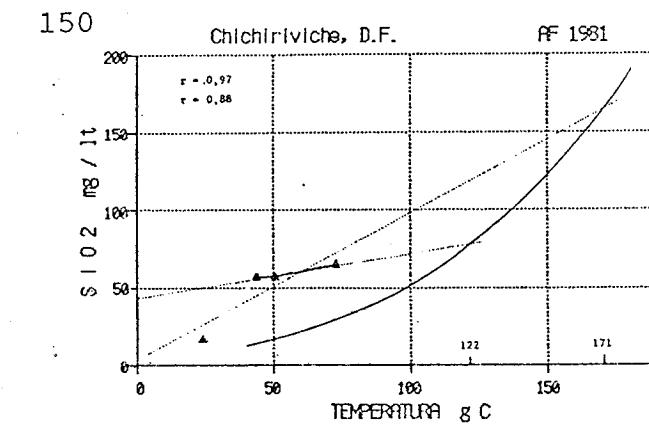


TABLA 28

Coeficientes de regresión lineal entre T (°C) y otros parámetros químicos de las fuentes termales de Chichiriviche, D.F.

(Muestras usadas, DF-6, 7, 8, 8r; 1981) y = T°C  
x = Parámetros químicos

x (ppm)	a	b	r
Cl	22,15	0,1296	0,78
SO <sub>4</sub>	19,49	0,1328	0,85
HCO <sub>3</sub>	20,57	0,1043	0,91
F	21,16	2,952	0,91
Na	22,14	0,0786	0,85
K	21,69	1,224	0,90
Ca	60,9	-0,92	-0,79
Mg	71,4	-7,46	-0,92
SiO <sub>2</sub>	7,937	0,812	0,89

	Agua Fría	Estimado agua cal. profunda	Muestra	Proporciones de mezcla
				% Fría % Caliente
T°C	24	155	D.F. 6	70 30
Cl	21	1025	7	73 27
Na	10	1690	8	78 22
K	1,2	110		
SO <sub>4</sub>	24	1020		
SiO <sub>2</sub>	17	180		
F	0,13	45		
HCO <sub>3</sub>	61	1290		
Ca	40	0		
Mg	6,0	0		
TDS	178	4312		

(estimados a partir del F)

FIG. 96 DIAGRAMA DE PIPER

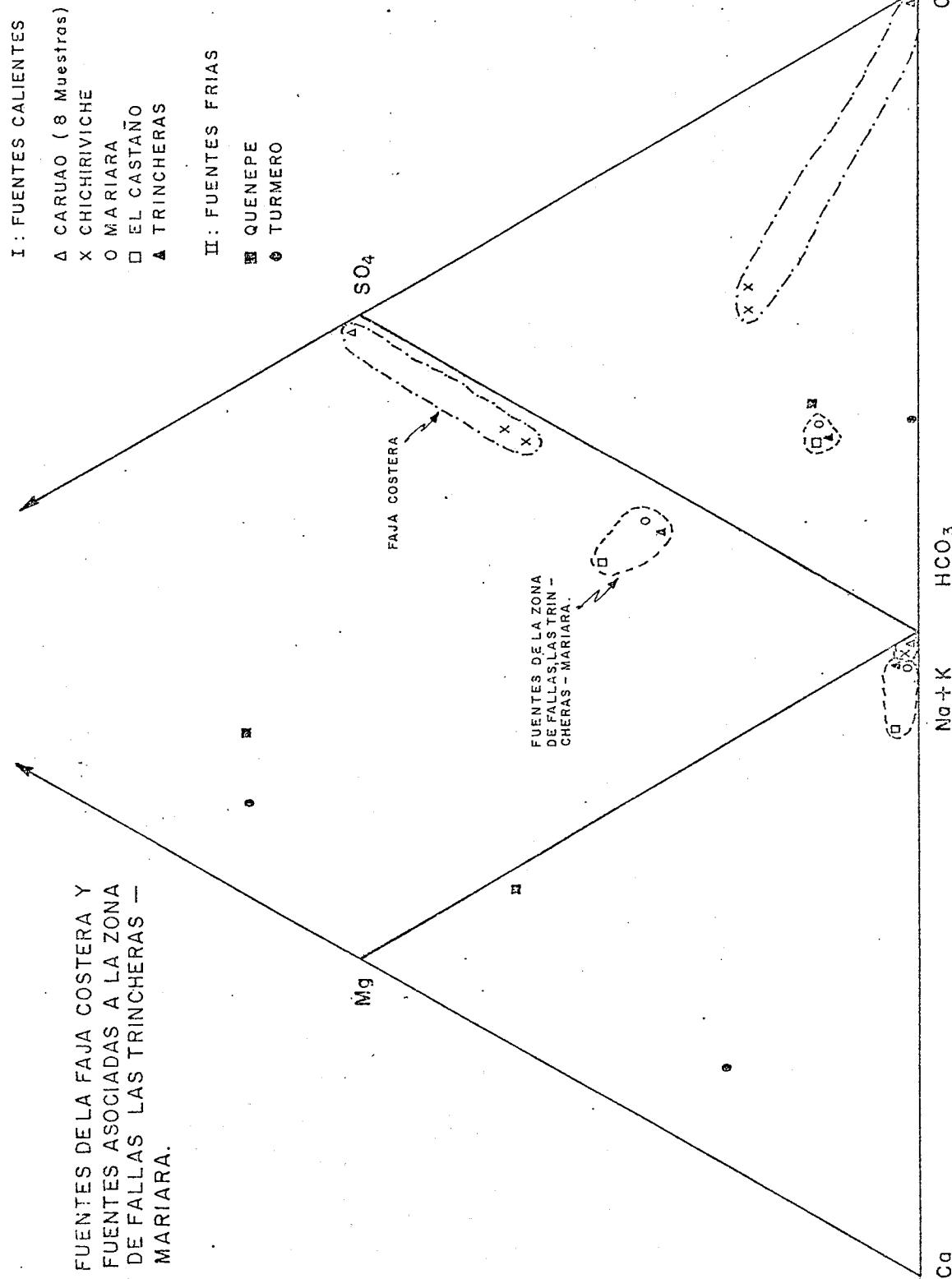
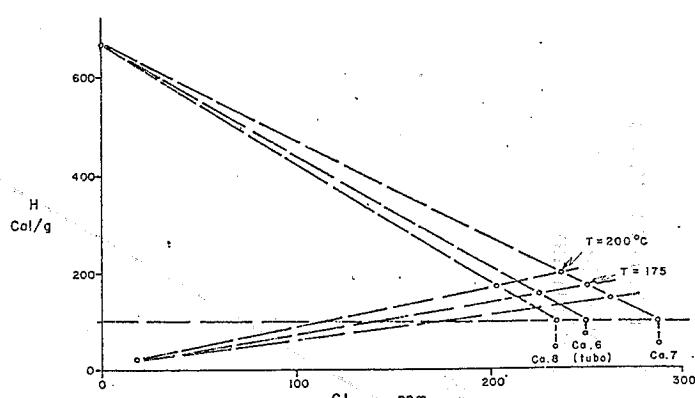


FIG. 97 GRAFICO H vs CI PARA LAS FUENTES TERMALES DE CHICHIRIVICHE, D.F.  
(EXPLICACION EN EL TEXTO)



T FUENTE, MAXIMO = 73 °C (Perforación - 26 m.)  
T ACUIFERO INTERMEDIO ≈ 145-165 °C  
T ACUIFERO PROFUNDO, MINIMO ≈ 200 °C

FIG. 98 MODELO GEOLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES TERMALES DE CHICHIRIVICHE, D.F.

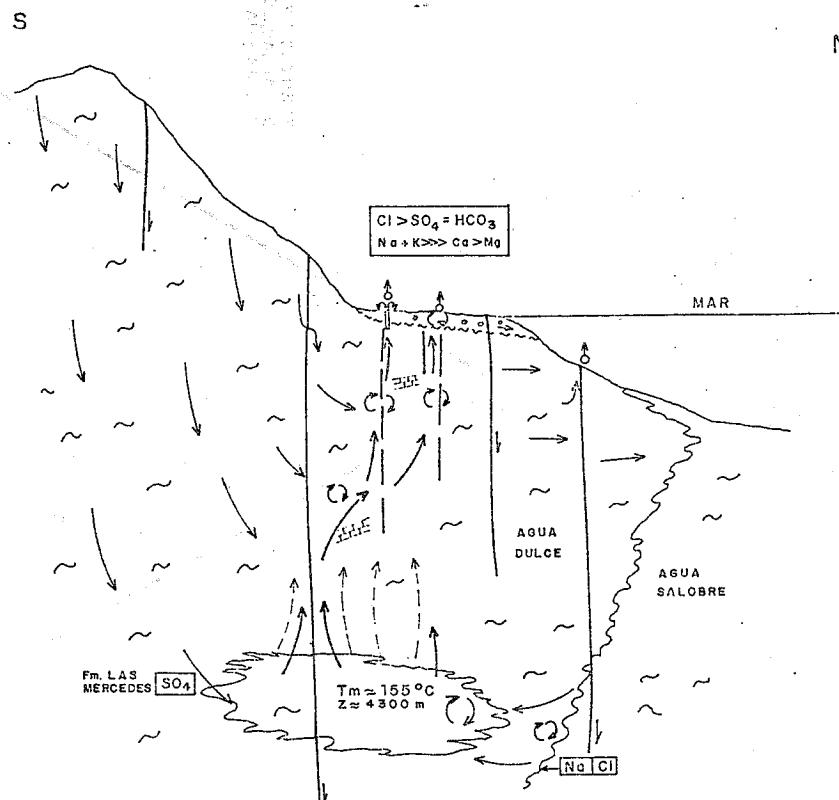
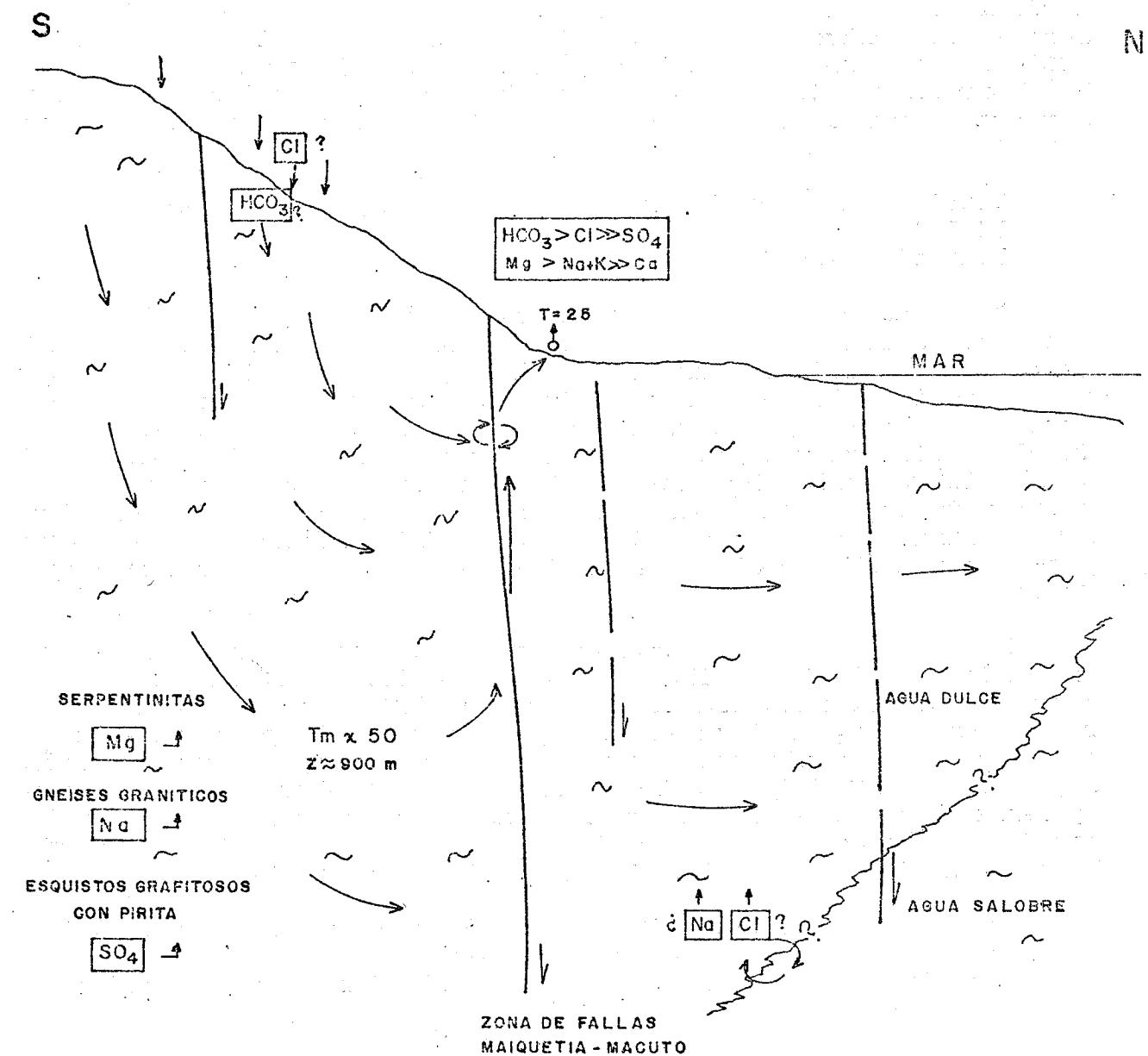


FIG. 99 MODELO GEOLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES DE QUENEPE, MAIQUETIA, D.F.



#### 4.6.3. Caruao, D.F. (IIIt78, 168, f238, 268a).

Este es un grupo de fuentes muy caliente [ $t(c)_m = 71^\circ\text{C}$ ], con alto TSD, Cl y Na, estas características y su cercanía a la costa permiten interpretar cierto grado de mezcla con agua marina. En estas fuentes se nota una fuerte y significativa correlación entre  $t(c)$  vs. TSD, Cl, SiO<sub>2</sub>, K, SO<sub>4</sub>, F y Na (fig. 100), lo cual es explicable por mecanismos de mezcla. La tabla 29 presenta los resultados de la aplicación de los geotermómetros químicos, que a su vez puede resumirse como sigue:

$$\begin{aligned} t(cz) &= 79-110^\circ\text{C} \text{ (no aplicable, afectado por mezcla).} \\ t(alc) &= 156 \\ t(wsmm) &= 140-155 \end{aligned}$$

Con todos estos resultados, se interpreta que la temperatura mínima del reservorio caliente profundo está en el intervalo 145-155°C. Con este valor y utilizando las ecuaciones de regresión lineal entre  $t(c)$  vs. componentes químicos, se puede predecir la composición del componente caliente profundo (tabla 30), resultando que esta es un agua de alta salinidad (TSD = 11800 mg/l). Por otra parte, también se puede calcular la proporción de mezcla, resultando que las aguas de las fuentes están constituidas por 17 al 35% del componente caliente profundo con 65 al 83% del agua fría superficial (tipo Pozo del Cura).

Utilizando el estimado para el componente caliente profundo, de  $t(r) = 150^\circ\text{C}$ , y Cl = 6900 ppm, se preparó el diagrama Cl vs. entalpía (fig. 101 y 102), que con ciertas consideraciones, pudiera servir para sugerir temperaturas de un componente caliente aun más profundo, con temperaturas quizás mayores de 200 °C, y pudiera pensarse que estas temperaturas operan en los niveles de profundidad, donde se lleva a cabo la mezcla de las aguas salobres de origen marino, con las aguas de baja salinidad procedentes de la infiltración de la Cordillera.

Finalmente la fig. 103 presenta un modelo esquemático del sistema geotérmico de Caruao, donde se ha tratado de poner graficamente toda la información y consideraciones señaladas para estas fuentes.

TABLA 29

Parámetros selectos y valores preferenciales para los geotermómetros de los puentes termales de Caruao, D.F.

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	TNa-K-Ca	TSD
DF-1	34	1169	42	85	154	2060
1A	44	1524	55	96	158	2500
1B	39	1169	40	91	154	2000
2	36	1453	54	87	161	2360
3	35	1418	53	86	151	2510
4	51	2197	64	103	157	3700
4A	59	2446	65	110	159	4100
5	30	1701	61	79	157	2680
Prom.	41	1634	54	92	156	2739
des est.	9	466	10	11	12	760
1969-A	30	635	47	79	-	1100
B	40	1780	57	92	-	2940
C	30	660	42	79	-	1180
D	20	383	36	63	-	697
Prom.	30	864	45	78	-	1480
des.est.	8	623	11	13	-	996

Modelo de mezcla de aguas fuentes tibias ("w.s.m.m.")  
 $\begin{array}{lll} \text{SiO}_2 & \text{T vs Cl} & \text{Twsmm } (\text{°C}) \\ 1982 & r=0,93 & r=0,9 & 155 \\ 1969 & r=0,98 & r=0,94 & 140 \end{array}$

FIG. 100

(F y Cl) vs. T. FUENTES TERMALES DE CARUAO, D.F.

TABLA 30

Coeficientes de regresión lineal entre  $T(^{\circ}C)$  y otros parámetros químicos para las fuentes termales de Caruao, D.F.

Y	a	+ b	X	r
T	24,66	0,6415	Cl (meq/l)	0,90
	33,26	0,512	SiO <sub>2</sub> (ppm)	0,81
	27,98	27,08	K (meq/l)	0,81
	40,76	19,23	SO <sub>4</sub>	0,65
	25,94	203,9	F	0,97
	29,21	0,5931	Na	0,76
	25,33	0,0106	TSD (ppm)	0,86

	Agua Fria	Agua Caliente Profunda	Muestra	Proporciones de mezcla	
				% Fria	% Caliente
T°C	23,5	150	DF-1B	83	17
Cl	21	6.920	1	83	17
SO <sub>4</sub>	0	267	3	80	20
Na	13	4.680	2	79	21
K	0,7	176	1A	78	22
F	0,07	12	5	76	24
SiO <sub>2</sub>	19	228	4	68	32
TSD	10	11.800	4A	65	35

(ESTIMADOS A PARTIR DEL Cl )

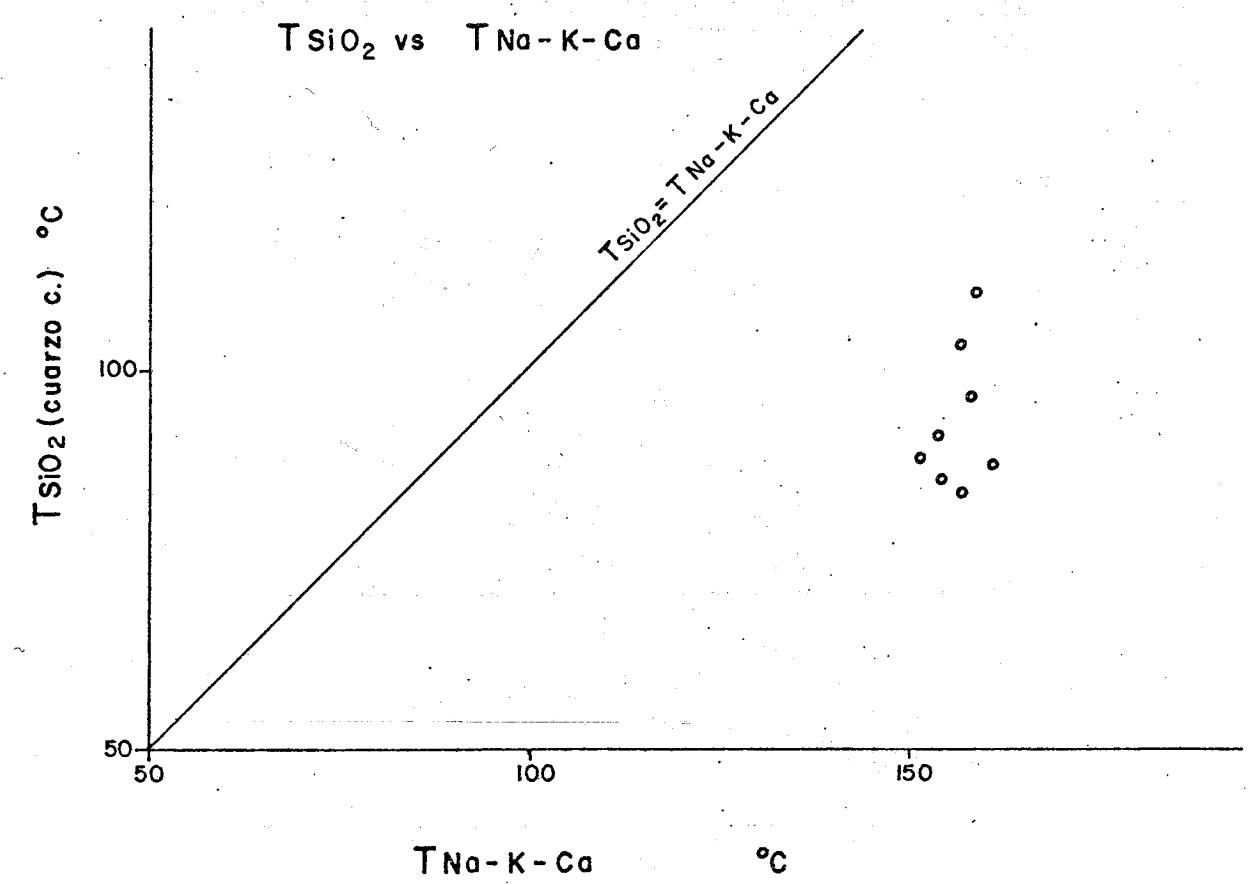
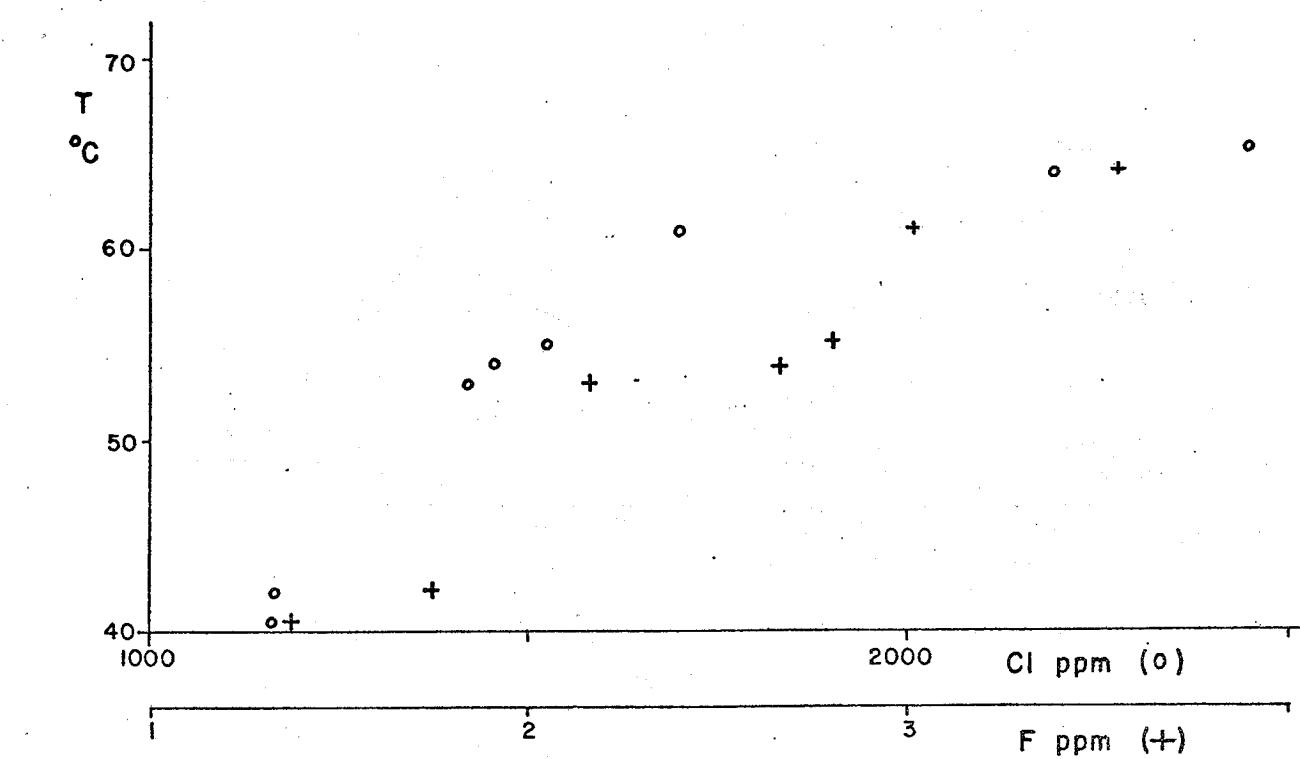
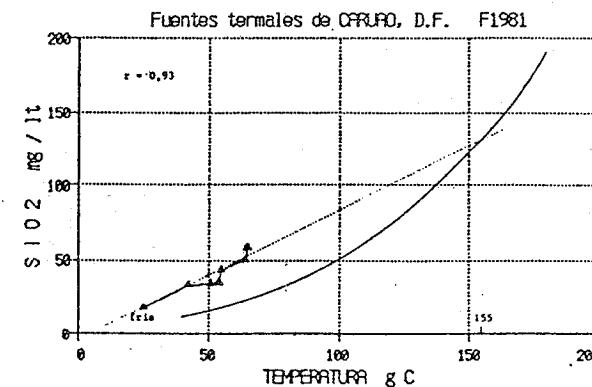
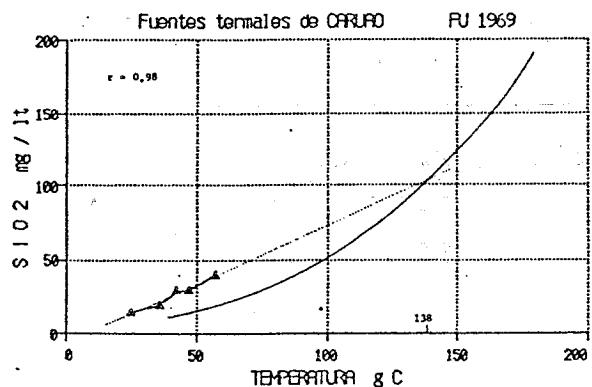


FIG. 101  
DIAGRAMA CI-ENTALPIA PARA LAS FUENTES TERMALES DE CARUAO, D.F (EXPLICACION EN EL TEXTO)

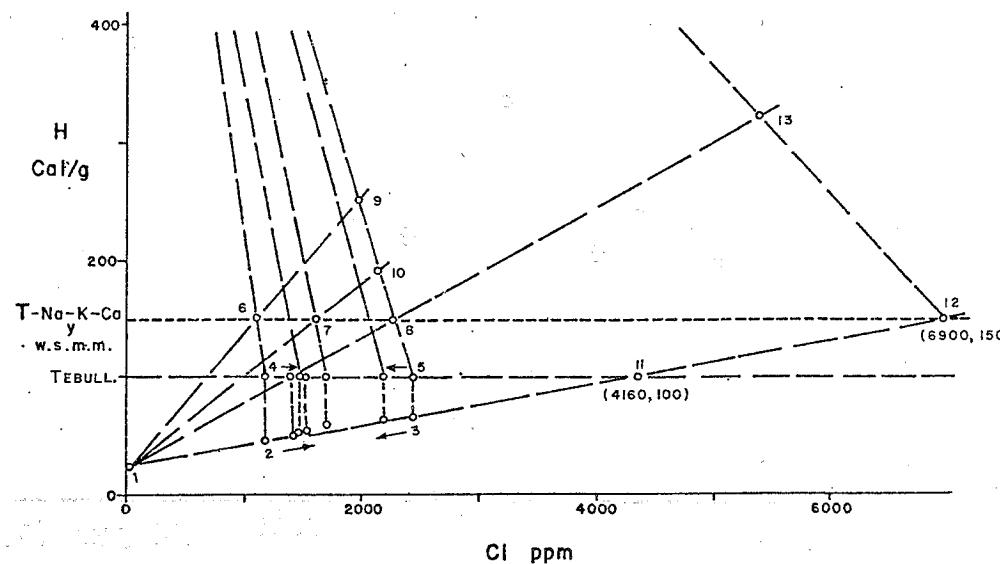


FIG. 102  
GRAFICO H vs. Cl PARA LAS FUENTES TERMALES DE CARUAO, D.F.  
(DETALLES EN EL TEXTO)

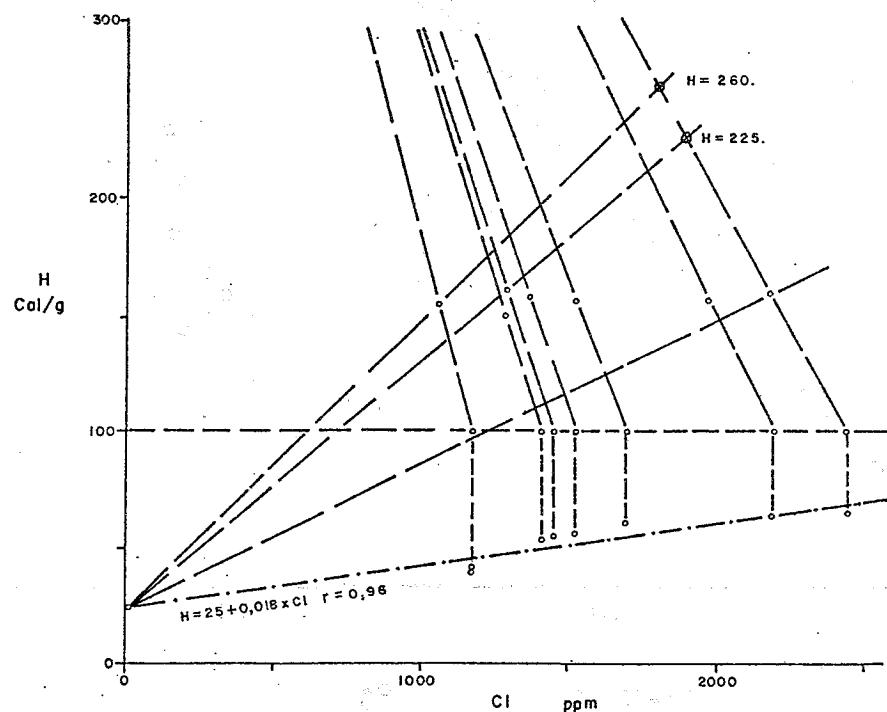
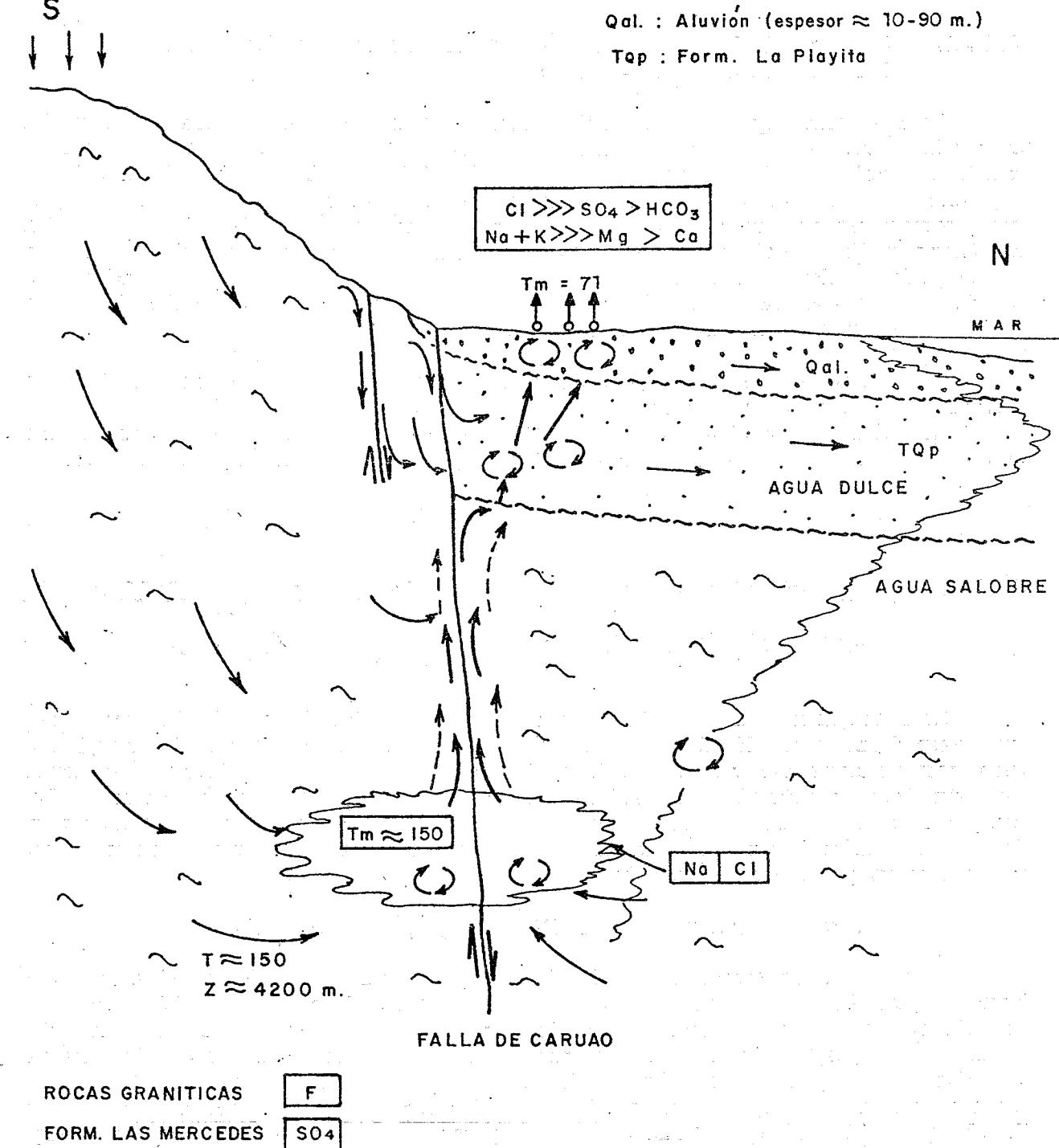


FIG. 103  
MODELO GEOLÓGICO ESQUEMÁTICO DE LAS FUENTES TERMALES DE CARUAO, D.F.



#### 4.7. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DE LA FAJA DE VALLES INTERMEDIOS DE LA CORDILLERA DE LA COSTA.

La fig. 96 muestra un diagrama de Piper, donde se notan claras diferencias entre la composición de las aguas de la faja costera, en relación con las de la franja de valles intermedios, en especial las de la zona de fallas de Las Trincheras - Mariara.

##### 4.7.1. Área de Villa de Cura - Belén, Aragua y Carabobo. (IIIt80, 175, f238, 268a).

Estas son aguas esencialmente frias y sulfurosas, con la característica de que  $t(cz) > t(alc)$ , lo cual sugiere una concentración relativamente alta de SiO<sub>2</sub>, estas características igualmente se observan en otras de las fuentes que brotan en o muy cerca de rocas de la faja de rocas volcánicas de Grupo Villa de Cura o Volcánicas de Tiara, de modo que es probable que en este tipo de rocas exista alguna otra fase que controle el contenido de SiO<sub>2</sub>, o la existencia de un reequilibrio de Na-K-Ca a temperaturas relativamente bajas.

En las fuentes de esta área los resultados estimados a partir de los geotermómetros (tabla 31) es de  $t(cz)m = 85^{\circ}\text{C}$  y  $t(alc)m = 50^{\circ}\text{C}$ . La fig. 104 presenta un modelo hidrológico esquemático, que se podría utilizar para explicar estas fuentes.

##### 4.7.2. Manifestaciones asociadas a la zona de fallas de Las Trincheras - Mariara, Carabobo y Aragua.

Las figuras 96 y 105 presentan el diagrama de Piper y el gráfico  $t(c)$  vs. SiO<sub>2</sub>, para las fuentes termales de esta región, que conjuntamente con la tabla 26 resumen los sistemas de toda la región central, en ellos se nota mucha semejanza entre la composición química de las aguas y los valores estimados para los geotermómetros químicos. A continuación se presentan los resultados para cada fuente.

##### Las Trincheras. (IIIt81, 178, f239, 268b).

Debido a la captación del agua para su uso médico-turístico hace imposible la toma de las muestras en el propio sitio de la emisión, esto hace necesario la comparación y uso tanto de análisis viejos como de recientes. Afortunadamente, de esta fuente se disponen análisis "buenos" que datan desde 1879, y todos ellos proporcionan una fuerte correlación entre  $t(c)$  y SiO<sub>2</sub> y Cl (fig. 105), esto permite interpretar que hay

mecanismos de mezcla que están afectando estas aguas. La tabla 32 presenta los resultados de los estimados por los geotermómetros químicos, que se resumen a continuación:

$t(c)$	= 97°C (en 1823)	a	95°C (en 1938)
$t(cz)$	= 77 - 184	$\bar{t}(1982) = 103$	$\bar{t}(1879-1974) = 144$
$t(\text{Na}-\text{K}-\text{Ca})$	= 151 - 201	"	170
$t(\text{Na}/\text{Li})$	= 220	"	175
$t(\text{Li})$	= 156	"	"
$t(wsmm)$	= 172 (ver fig. en tabla 32)		
$t(bsmm)$	= 210 (ver fig. 106, con H=214 cal/g)		

El gráfico H vs. Cl (fig. 106) en este caso no es totalmente aplicable, debido a la existencia de temperaturas ligeramente inferiores al punto de ebullición, pero sus resultados [ $t(bsmm)$ ] son consistentes con el valor dado por el geotermómetro de Na/Li.

La fig. 107 presenta un modelo esquemático para el ciclo hidrológico de esta manifestación, según el cual se postula la existencia de un acuífero profundo muy caliente ( $t = 210^{\circ}\text{C}$ ), que se enfriaría tanto por mezcla con aguas subterráneas mas frías como por procesos de ebullición, posteriormente a niveles intermedios existe mas mezcla con agua fría y a la vez reequilibrio agua-roca para el sistema Na-K-Ca, esto ocurre a temperaturas cercanas a 170°C, que por enfriamiento conductivo y por ebullición llegan a la superficie con temperaturas cercanas al punto de ebullición atmosférica. Este modelo señala a esta fuente, como la de mas alta entalpía de toda la Cordillera de la Costa.

La fuente de Las Trincheras al igual que las otras relacionadas con el sistema de fallas de Las Trincheras - Mariara, tiene un alto contenido de fluor (lo cual se explica en el capítulo 5).

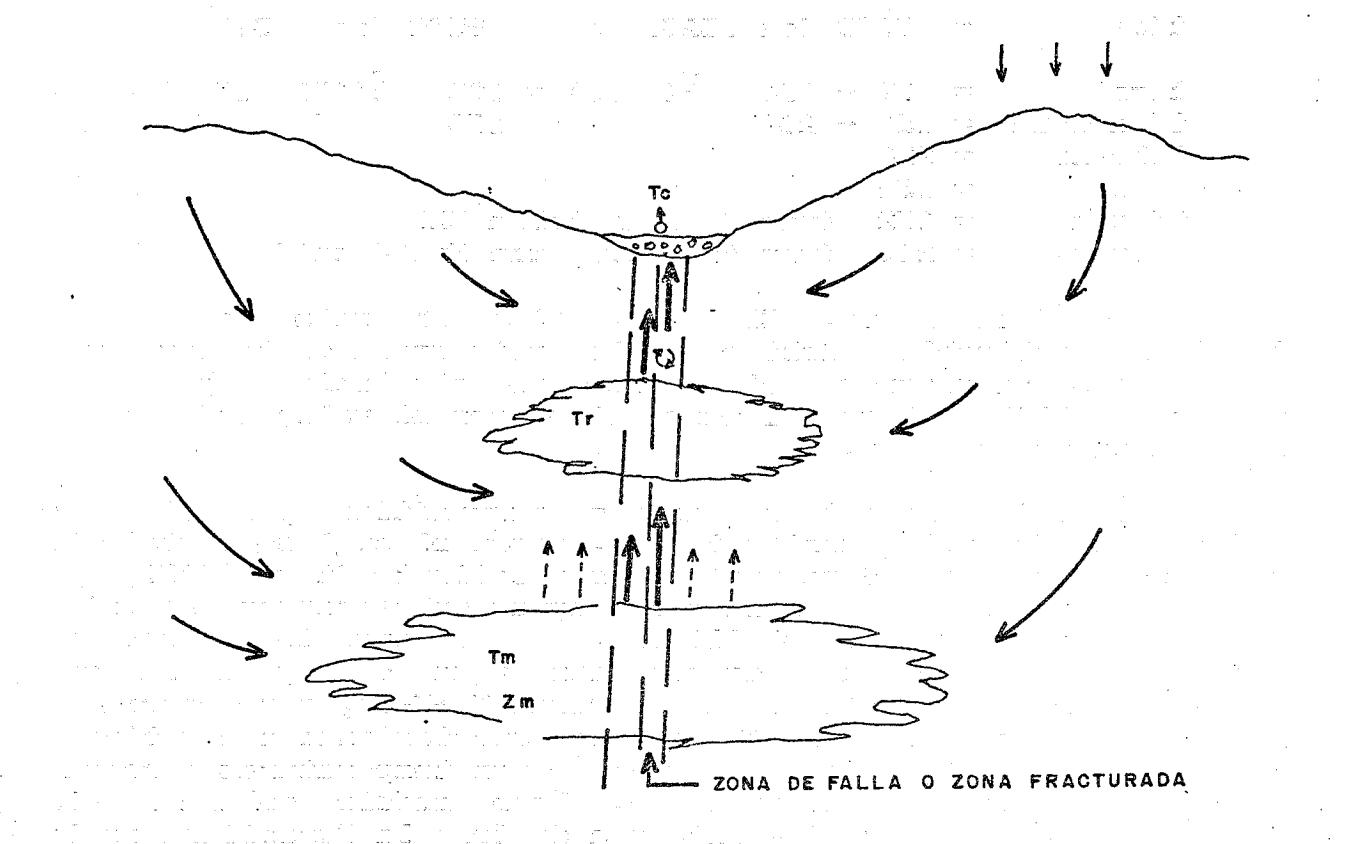
TABLA 31

Resumen de geotermómetros, fuentes del norte de la Serranía del Interior.

Sigla	Tc	Tcz	Tcal	TNa-K-Ca	TSD
Ca.9	24	87	56	29(24)*	152
Ar.9	28	92	61	35(28)*	456
Ar.10	26	88	57	53(26)*	324
Ar.11	25	78	47	53	469

\* CORRECCION POR Mg.

FIG. MODELO HIDROLOGICO ESQUEMATICO DE ALGUNOS  
104 SISTEMAS HIDROTERMALES DE LA CORDILLERA  
DE LA COSTA



SISTEMA	T <sub>m</sub> (°C)	Z <sub>m</sub> (m)	T <sub>r</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)
GUARENAS, Mi	~ 75	- 1700	~ 30	22
SERR. INT., Ca, Ar	~ 85	- 1200	~ 40	25
ORTIZ, CALABOZO, Gu	~ 80	- 1900	~ 50	28
TAGUAY, Ar, Gu	~ 80	- 1200	~ 30	26
SAN JUAN, Gu	~ 85	- 1200	~ 70	34
SAN SEBASTIAN, Ar	~ 110	- 2900	~ 80	26

T<sub>r</sub>: TEMP. POSIBLE REEQUILIBRIO Na - K - Ca

T<sub>c</sub>: TEMP. FUENTE

T<sub>m</sub>: TEMP. MAXIMA EN EL SUBSUELO DEL ACUIFERO QUE ALIMENTA EL MANANTIAL

Z<sub>m</sub>: POSIBLE PROFUNDIDAD DONDE EXISTE T<sub>m</sub>.

TABLA 32

Parámetros selectos y valores preferenciales para los geotermómetros de las fuentes termales de Las Trincheras, Carabobo

Identif.	SiO <sub>2</sub>	Cl	T <sub>c</sub>	T <sub>cZ</sub>	T <sub>Na-K-Ca</sub>	TSD
Ca, 1, 1982	79	60	48	124	168	549
2	66	60	45	115	166	541
3	28	67	39	77	175	498
4	27	60	78	75	165	493
5	64	67	38	113	172	534
6	69	63	38	117	169	543
Prom. des.est.	55 23	62 11	47 17	103 24	170 3	526 25
1879	127	58	-	151	174	663
1892	126,5	57	-	150	173	666
1895	211	58	-	184	175	784
19XX	103	49	-	139	-	527
1920	101	57	-	137	201**	499
1938*	105	49	85	140	177	516
1938	108	50	95	141	151	542
1961	88	57	-	130	-	538
1961	83	63	-	127	-	514
1974	107	43	93	141	172**	557
Prom. des.est.	115 39	54 6	-	144 15	175 15	580 93

\*T<sub>Na/Li</sub> = 220°C      T<sub>Li</sub> = 156°C

\*\*Corrección por Mg.

Fuente termal Las Trincheras, Carabobo

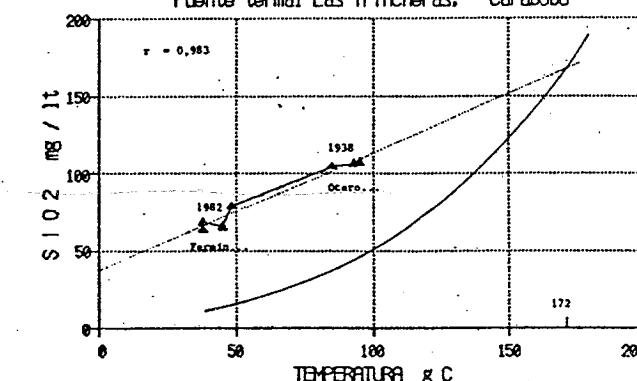
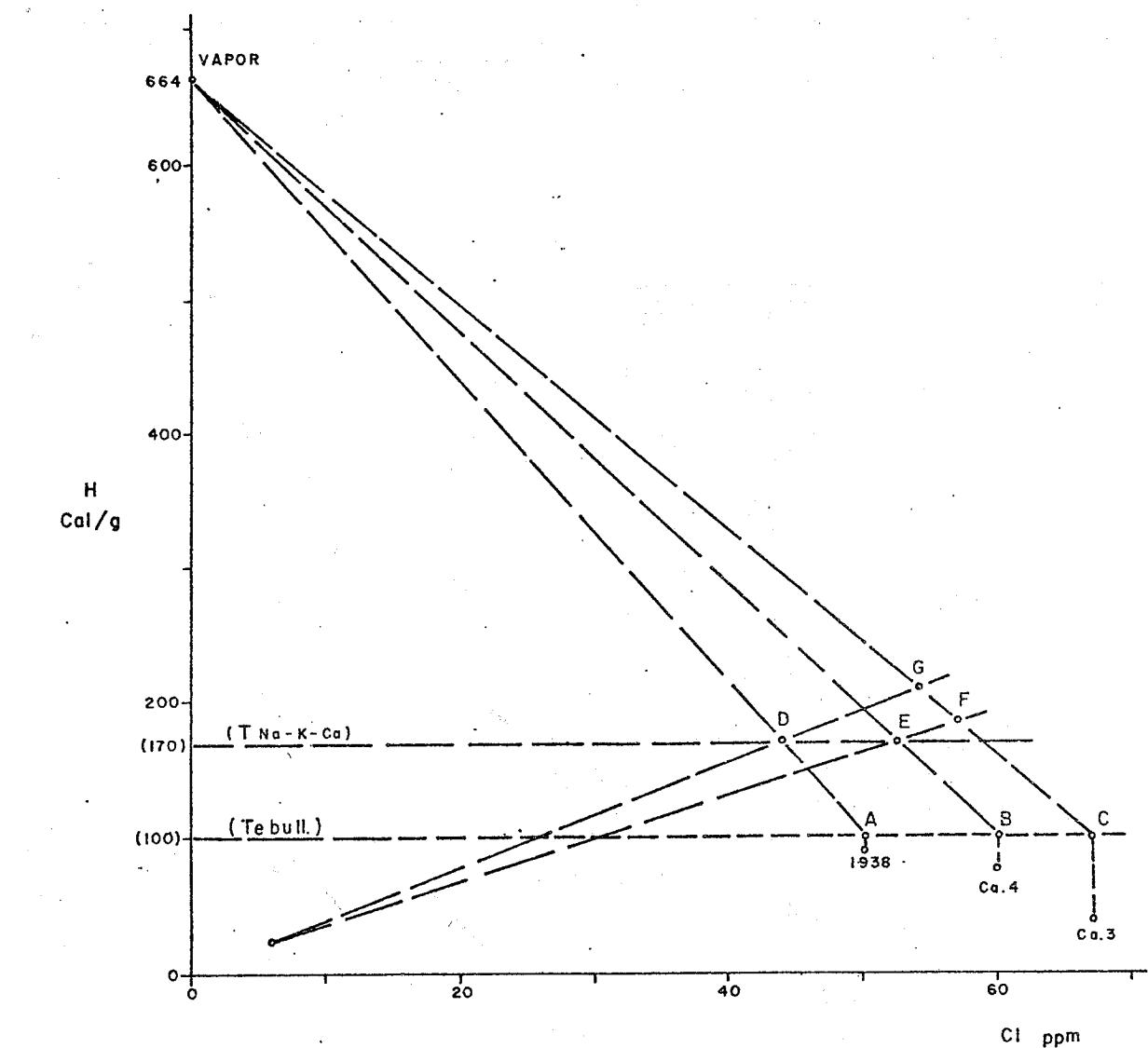
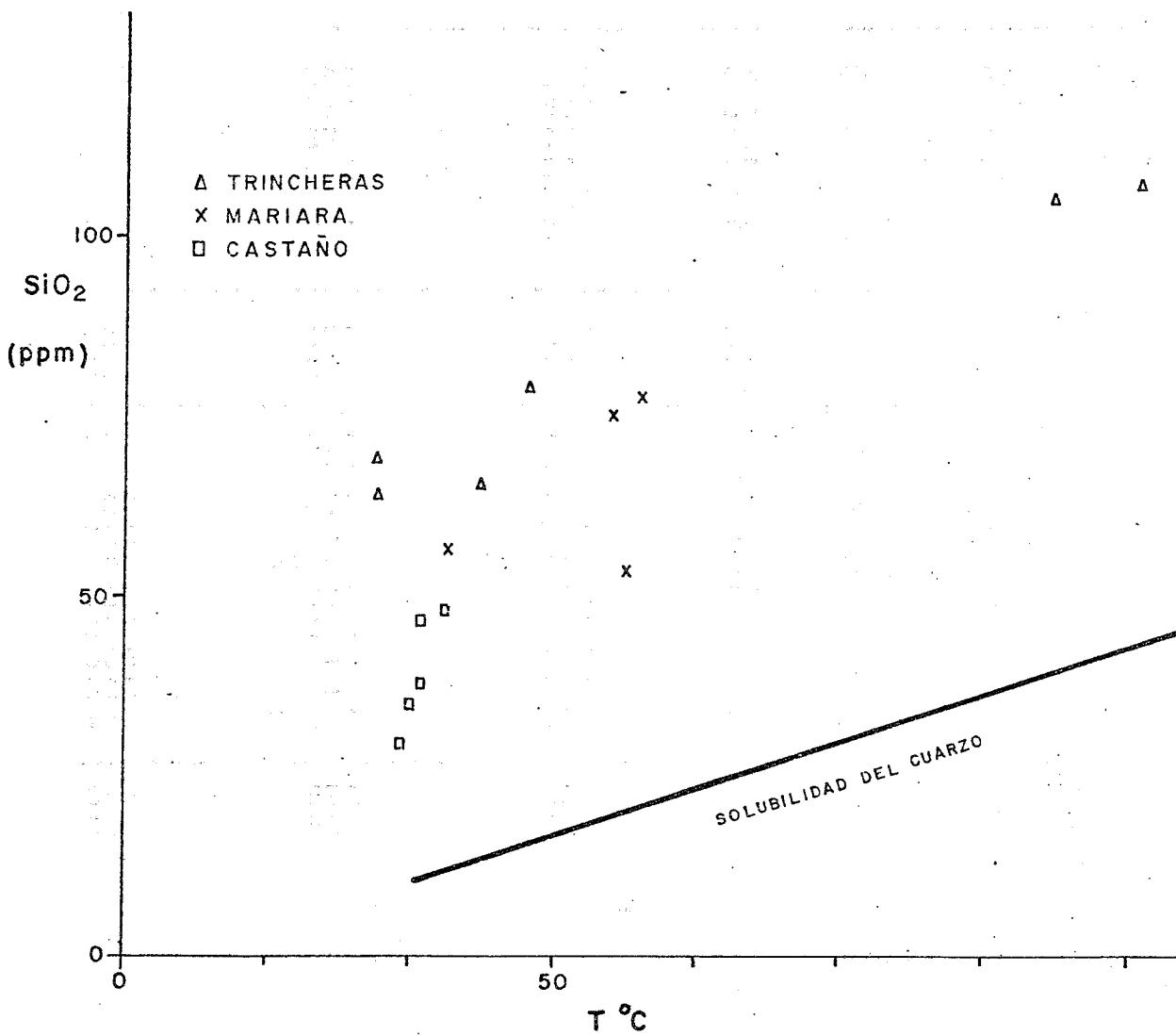


FIG. 106 H vs CI PARA EL SISTEMA DE FUENTES TERMÁLES  
DE LAS TRINCHERAS, CARABOBO.

FIG. 105 T vs SiO<sub>2</sub> DE FUENTES TERMÁLES ASOCIADAS A LA ZONA  
DE FALLAS DE LAS TRINCHERAS MARIARA.

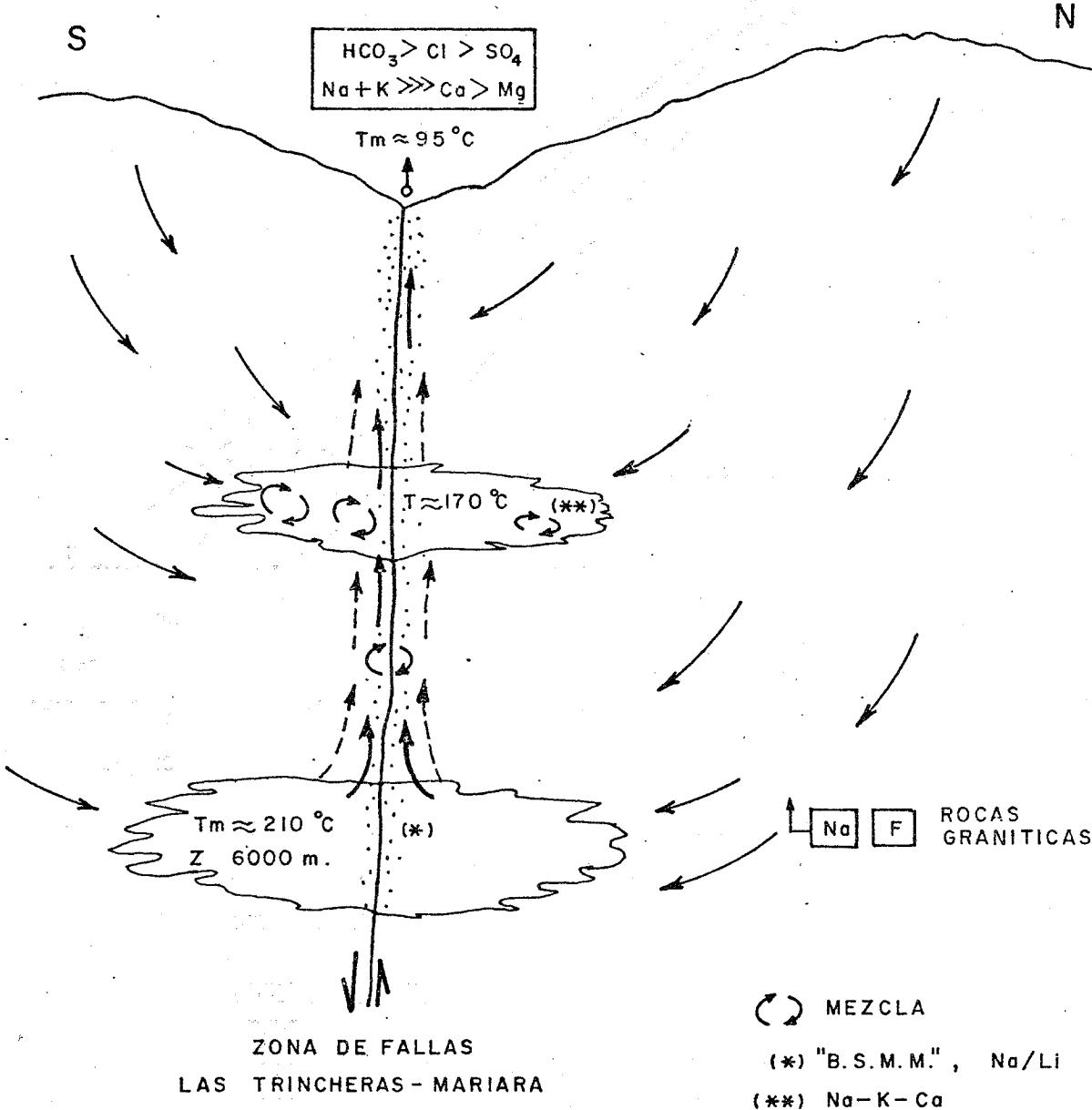


	1938	Ca.4	Ca.3	A	B	C	D	E	F	G
Cl	50.	60.	67.	50.	60.	67.	44.	52.	57.	54.
H (Cal/g)	90.	78.	39.	100.	100.	100.	170.	170.	185	214

	RESUMEN TEMPERATURAS:	INTERVALO	PROMEDIO	MAXIMO
CAMPO	38 - 97	—	—	97
CUARZO (1981)	75-124	103	—	124
II (VIEJOS)	127-184	144	—	184
Na-K-Ca (1981)	165-175	170	—	175
II (VIEJOS)	151-201	175	—	201
Na/Li (1938)	—	—	—	220
"B.S.M.M."	185-214	—	—	214

FIG.  
107

## MODELO GEOLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES TERMALES DE LAS TRINCHERAS, CARABOBO.



## Mariara. (IIIt82, 179, f240, 268b).

Esta es otra de las fuentes de alta temperatura de la Cordillera de la Costa, en ella al igual que en Las Trincheras, hay una fuerte y significativa correlación  $t(c)$  vs. SiO<sub>2</sub> y Cl, que sugiere fenómenos de enfriamiento por mezcla. Los estimados dados por los geotermómetros químicos (tabla 33), se resumen a continuación:

$t(c)m$	=	$75^\circ\text{C}$
$t(cz)$	=	$119$ (promedio 1938-1982)
$t(alc)$	=	$129$ " 1982
$t(wsmm)$	=	$158$

Con estos resultados y en una forma conservadora, para el componente caliente profundo interpretamos una temperatura cercana a  $160^\circ\text{C}$ , y después del proceso de mezcla, se postula un posible reequilibrio agua-roca que afectaría al geotermómetro Na-K-Ca, en una temperatura entre  $120-130^\circ\text{C}$ .

La fig. 108 presenta un modelo de este sistema geotérmico, donde además de la información e interpretaciones geotermométricas indicadas, se señala la contaminación natural de los acuíferos de la cuenca del lago de Valencia, por el agua caliente. El contenido de fluor de esta fuente termal es anormalmente alto (max. 18 ppm).

## El Castaño. (IIIt83, 181, f240, 268b).

Este es un grupo de manantiales con  $t(c)m = 42^\circ\text{C}$ , y en los gráficos  $t(c)$  vs. SiO<sub>2</sub> y Cl, los puntos presentan una aglomeración que impide una aplicación de modelos de mezcla en la forma convencional, aun cuando, puede hacerse asumiendo un punto pivote adicional, que corresponda al valor del agua fría. Esto aparece en la fig. IIIf268b con lo cual se obtiene una recta con  $r = 0,87$  y  $t(wsmm) = 143^\circ\text{C}$ . Los otros geotermómetros convencionales (tabla 34) producen valores de:  $t(cz) = 78-100^\circ\text{C}$ , con un promedio de  $89^\circ\text{C}$ , y  $t(alc) = 54-59^\circ\text{C}$ , y un promedio de  $56^\circ\text{C}$ . Con estos resultados se estableció un modelo tentativo (fig. 109), que sugiere la existencia de un reservorio caliente profundo con  $t(wsmm)$  y la posibilidad de una zona intermedia con un tiempo de permanencia relativamente elevado, donde pueda haber un reequilibrio Na-K-Ca.

TABLA 33

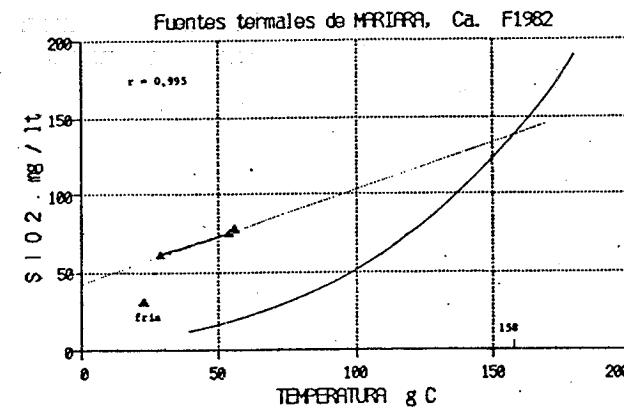
Parámetros selectos y valores preferenciales para los geotermómetros de las fuentes termales de Mariara, D.F.

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz.c	TNa-K-Ca	TSD
Ca 7	75	46	54	121	125	390
7A	78	46	56	123	127	401
8	61	14	29	111	134	165
Prom.	71	35	46	118	129	318
1938	53	24	55	105	186	260
1957	87	24	-	129	-	337
1962	96	28	46	135	-	355
1974	56	5	42	107	182	179
Prom.	73	20	48	119	184	283

Modelo de mezcla de aguas de fuentes tibias ("W.S.M.M.)

T vs. Cl

r=0,99

FIG.  
108

MODELO GEOLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES TERMALES DE MARIARA, CARABOBO

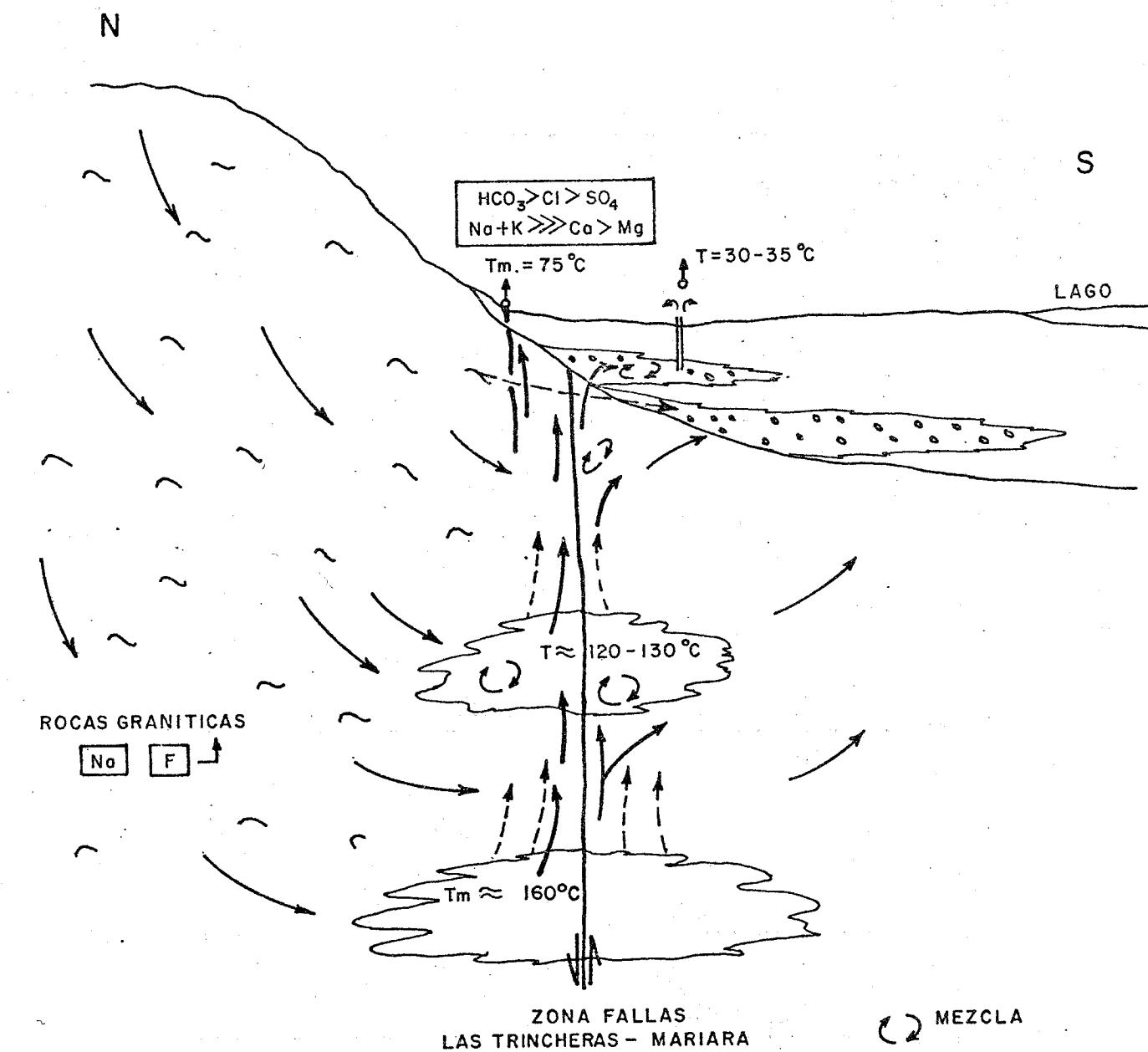
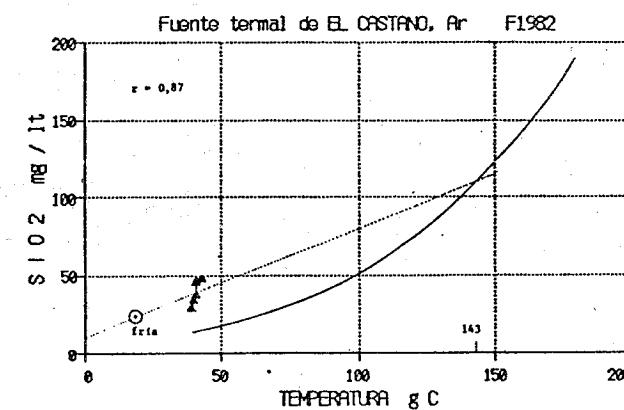


TABLA 34

Parámetros selectos y valores preferenciales para los geotermómetros de las fuentes termales de El Castaño, Maracay

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz (Cal)	TNa-K-Ca	TSD
Ar.3	46	24	41	98(67)	57	157
3A	48	14	42	100(69)	57	148
4	29	17	39	78(46)	59	150
7	34	10	40	85(53)	54	130
8	37	10	41	88(57)	56	141
Prom. des.est.	38	15	40	89(58)	56	145
	11	5	7	16(12)	9	10



F.T. zona fallas Las Trincheras-Mariara.

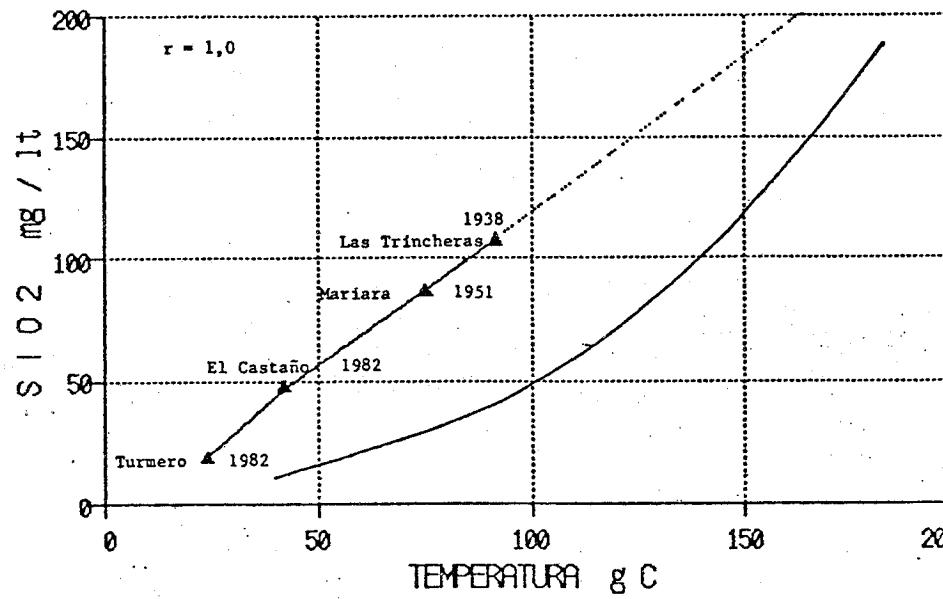
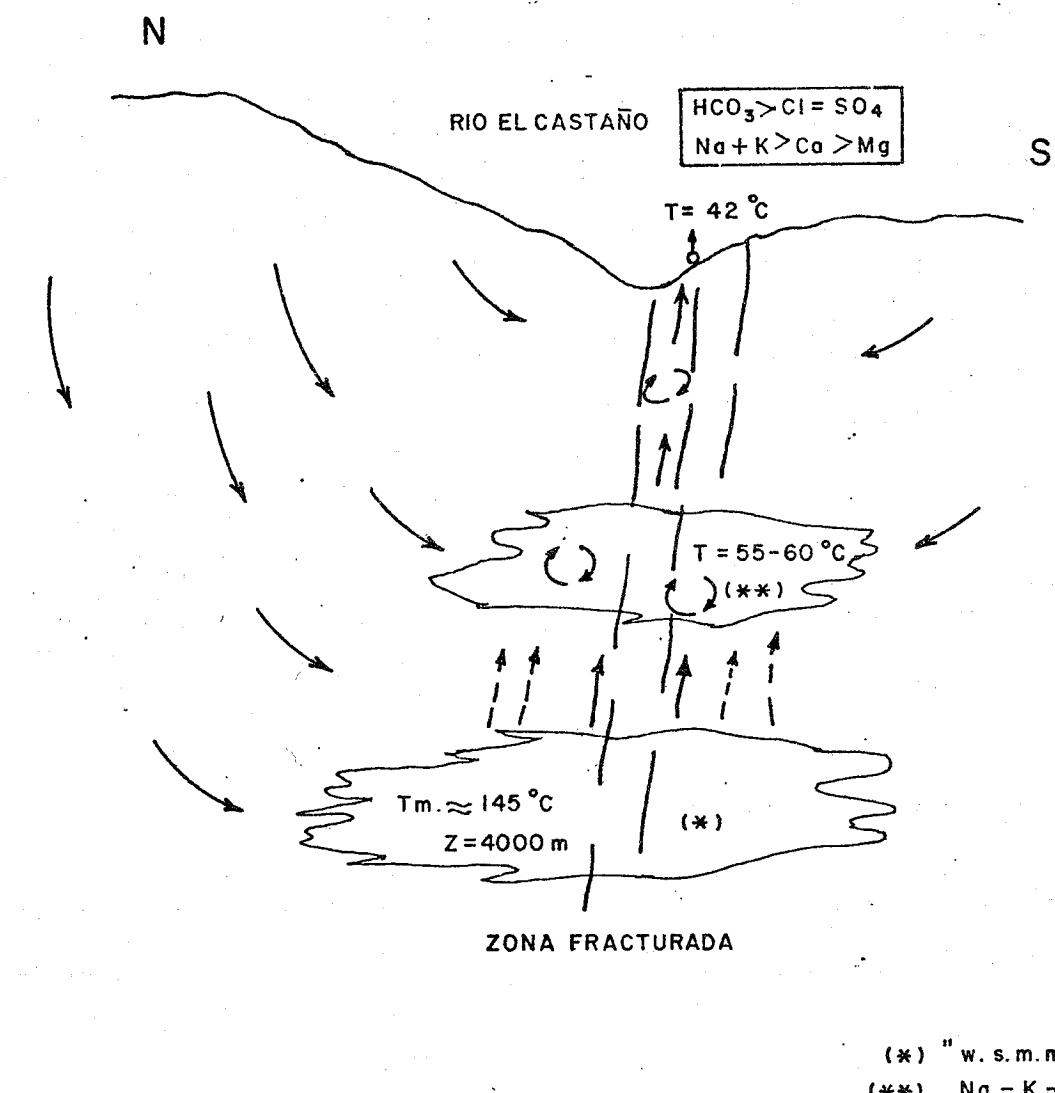


FIG. 109 MODELO GEOLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES TERMALES DE EL CASTAÑO, ARAGUA



Otras manifestaciones asociadas a la zona de fallas de

Las Trincheras-Mariara.

Además de los manantiales citados, dentro del mismo lineamiento general de Las Trincheras- Mariara, se localiza la fuente de *Turmero*, que es fría y sulfurosa, en donde los geotermómetros sugieren una temperatura máxima de 60°C.

Así mismo, hacia el oeste de Las Trincheras están los manantiales termales de *Canoabo* y *Morón*, pero que no se han podido analizar químicamente, uno por estar bajo las aguas de una represa y el otro por su difícil acceso.

Consideraciones generales sobre las fuentes termales de Las Trincheras - Mariara - El Castaño - Turmero.

Como se puede observar en el diagrama de Piper (fig. 96) y en la tabla 26, la composición de estas tres fuentes termales es bastante similar y de tipo:  $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$   $\text{Na+K} \gg \text{Ca} > \text{Mg}$ .

Debido a esta coherencia regional y utilizando solo los análisis de mas alta temperatura y con mas alto contenido de SiO<sub>2</sub> para cada fuente, se elaboró el gráfico  $t(c)$  vs. SiO<sub>2</sub> (figura en tabla 34), resultando en una linea recta ( $r=1,00$ ), de donde se pudiera interpretar una  $t(wsmm)$  variable entre 142°C, si existiera una máxima pérdida de vapor, y 195°C sin perdida de vapor. Estos valores regionales son concordantes, y apoyan los resultados que se obtuvieron por los modelos de mezcla de cada fuente en particular (Trincheras: 210-220 °C; Mariara: 160 °C; Castaño: 145 °C). A nivel regional esto sugiere una linea de acuíferos calientes profundos, a lo largo de la zona de fallas de Las Trincheras - Mariara, justamente en el flanco norte de la Cuenca de Valencia, que es una de las regiones mas densamente poblada e industrializada del centro de Venezuela. También se sugiere un aumento de temperatura de dichos acuíferos de este a oeste.

#### 4.7.3. Tácata, Miranda.

Esta es una interesante zona, con numerosas fuentes frias o tibias [ $t(c) = 21-30$ ], que por sus características físico-químicas y ubicación, pueden clasificarse en tres grupos bien definidos que se observan en la fig. 110, donde se relacionan sus características, ubicación y diagramas de D'Amore. En la fig. 111 el diagrama de Piper y en el gráfico  $t(c)$  vs. SiO<sub>2</sub> tambien refleja la discriminación entre los tres grupos. Los estimados de geotermómetros químicos para estas tres zonas aparecen en la tabla 35, que se resume a continuación:

Grupo	tipo	$\bar{t}(cz)$	$\bar{t}(alc)$
Lamedero	HCO <sub>3</sub> - Na	70	70
Malangas	HCO <sub>3</sub> - Mg	90	= $t(c)$
Mijaos	Cl - Na	< $t(c)$	45

Con esta información y las consideraciones de la geología del área, en la fig. 113 se presentan modelos de circulación de las aguas subterráneas, que pueden explicar las fuentes de esta área. De todo el grupo la única característica química que parece anómala, es la alta concentración de Mg en las fuentes de Las Malangas, pero allí afloran serpentinitas y metaharzburgitas que explican lo observado.

En la fuente de Los Mijaos, hay depósitos viejos de thompsonita, una zeolita Na-Ca, y depósitos actuales de calcita, que permiten postular un cambio en el tiempo, del régimen de temperatura y composición química de las aguas, ya que para la cristalización de este mineral se necesita una temperatura quizas superior a 70°C, mientras que hoy es de 30°C.

#### 4.7.4. Guarenas y Casupito, Caucagua. (IIIt86, 187, f242).

Estas son fuentes frias, sulfurosas o no, cuyos valores de temperatura estimados por geotermómetros químicos son relativamente bajos (<50°C) (tablas 36 y 37). A fin de comparar estas muestras con otras de la region, se presentan los diagramas de Piper y  $t(c)$  vs. SiO<sub>2</sub> (figs. 112, 114 y 115). La figura 104 presenta un posible modelo de circulación de las aguas para estas fuentes, pero esto no deja de ser muy tentativo, por la carencia de un numero mayor de fuentes en estas localidades.

#### 4.7.5. Colonia Mendoza, Ocumare del Tuy y Juan Díaz, Barlovento (IIIt87, 186, f241 y IIIt88, 188, f243).

Estas dos localidades se estudian juntas, por la gran similitud que presenta su composición química (figs. 112, 114 y 115). En la zona de Colonia Mendoza hay dos manantiales: La Mina (Lamedero) y Anguina, la primera de estas es la mas parecida a las de Juan Díaz. Ambas son aguas cloruradas-sódicas, y la proveniencia del Cl y Na en estos casos pudiera explicarse por el alto contenido de clorita y albita en las rocas de la Formación Paracotos y en las metavolcánicas del Grupo Villa de Cura, por donde circula el agua subterránea. La fig. 116 presenta los modelos hidrológicos esquemáticos para cada una de estas localidades, donde se señalan las posibles temperaturas máximas alcanzadas en el acuífero que alimenta las fuentes; dicha temperatura bajaría sustancialmente en su ascenso a la superficie por enfriamiento conductivo.

TABLA 35

Parámetros selectos y valores preferenciales de geotermómetros para las fuentes termales de Tácata, Estado Miranda

Siglas	Tc	Tcz	TNa-K-Ca	TSD	A PARAMETROS	B	C	D	E	F
					DE			DE		D'AMORE
<b>Hda. Los González, Lamedero</b>										
Mi:10	25	74	69(67) <sup>-</sup>	278	11	-61	60	86	-29	-83
11	30	91	80(74) <sup>-</sup>	282	35	-81	68	96	-49	-96
12	30	81	81(78) <sup>-</sup>	267	28	-68	84	96	-54	-95
13	26	67	66( -)	271	11	-58	60	84	-28	-79
14	21	38	91(56) <sup>-</sup>	344	53	-94	60	97	-55	-96
Prom.	26	70	77(68)	288	28	-72	66	92	-43	-90
<b>Fuente Las Malangas</b>										
Mi:15	26	89	22(26) <sup>-</sup>	163	58	4	-6	-50	19	21
<b>Fuente El Chorro de Aguas Calientes</b>										
Mi:17	29	92	29(29) <sup>-</sup>	123	78	-14	-8	-49	8	10
<b>Los Mijaos</b>										
Mi:18	30	12	47(42) <sup>+</sup>	216	32	-45	4	50	5	-12
19	31	18	51(47) <sup>+</sup>	173	38	-68	6	63	-7	-43
20	30	-5	50(46) <sup>+</sup>	206	48	-55	3	40	-3	-27
Prom.	30	1	50( -)	198	39	-56	4	51	-2	-27

- CORRECCION POR Mg.

+ CORRECCION POR PRECIPITACION DE CALCITA

FIG. MAPA DE UBICACION DE LAS FUENTES DE AGUAS TERMOMINERALES  
110 DEL RIO MESIA, OESTE DE TACATA, ESTADO MIRANDA

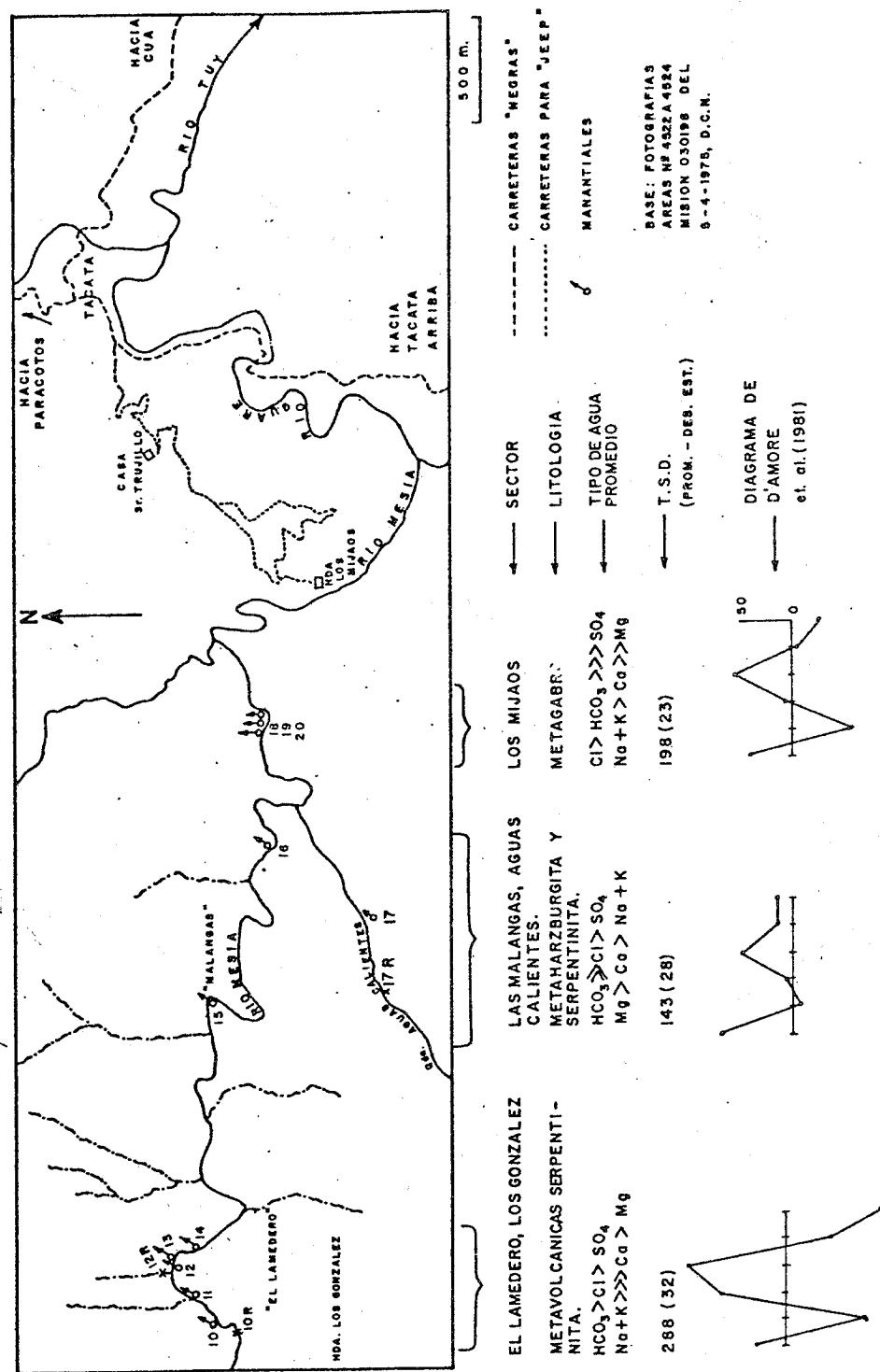


FIG. 111 DIAGRAMA DE PIPER

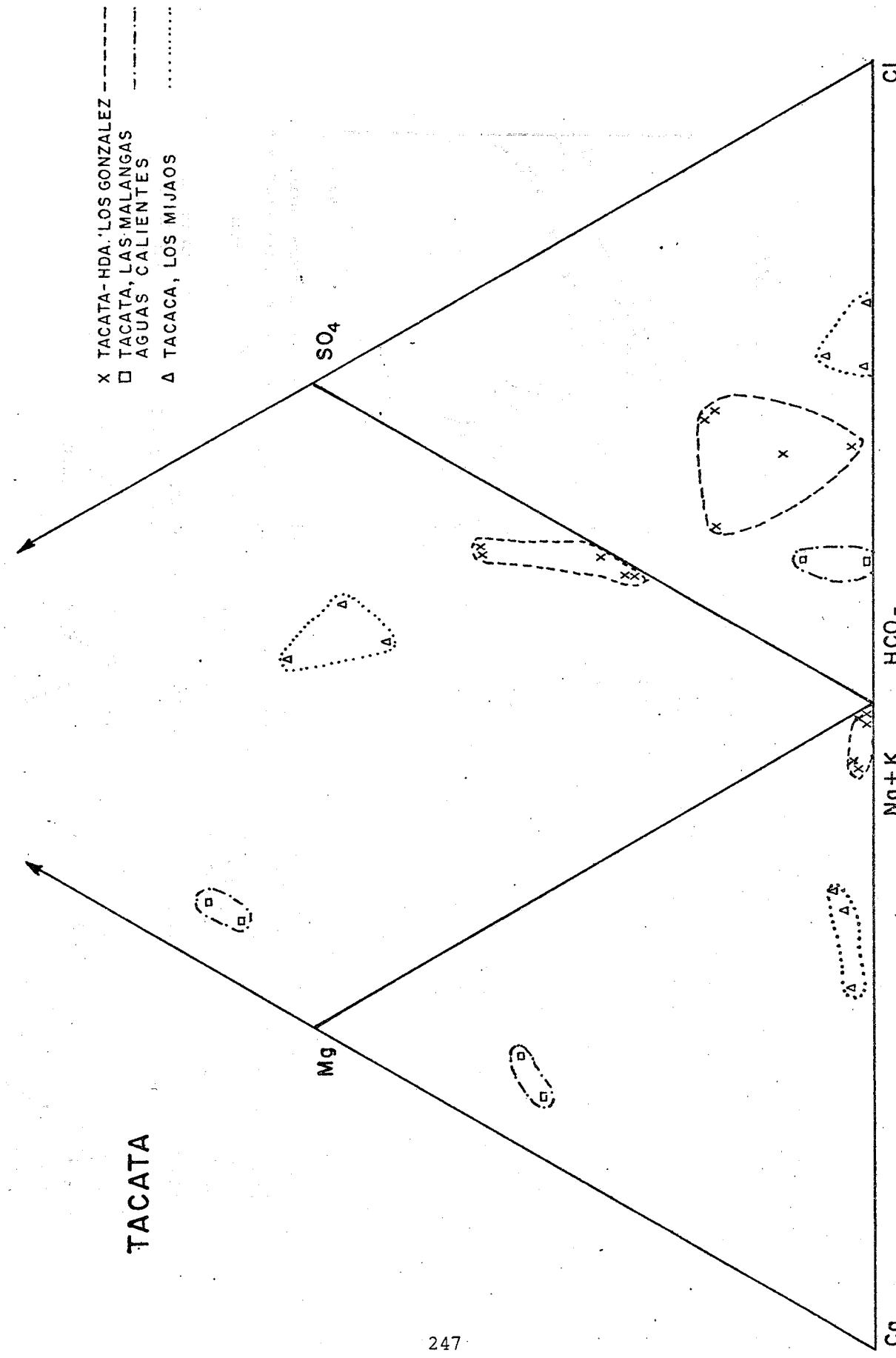


FIG. 112 SiO<sub>2</sub> vs T °C FUENTES TERMALES DE LA PARTE CENTRAL DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

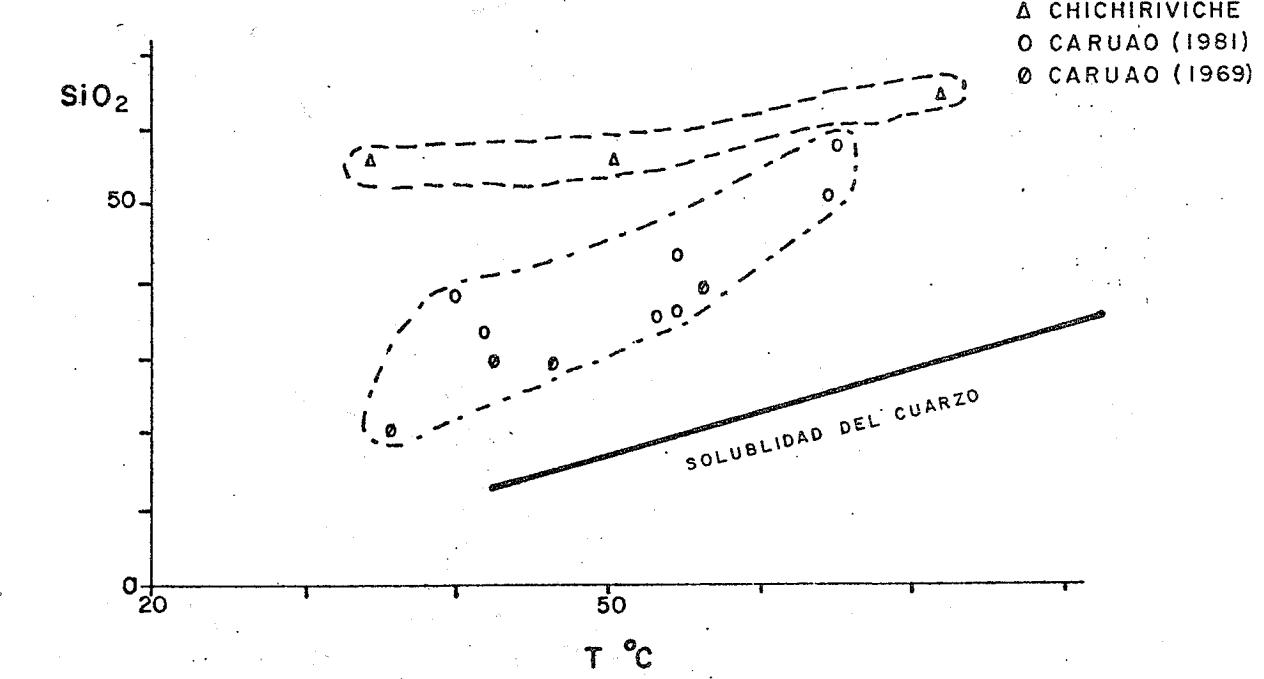
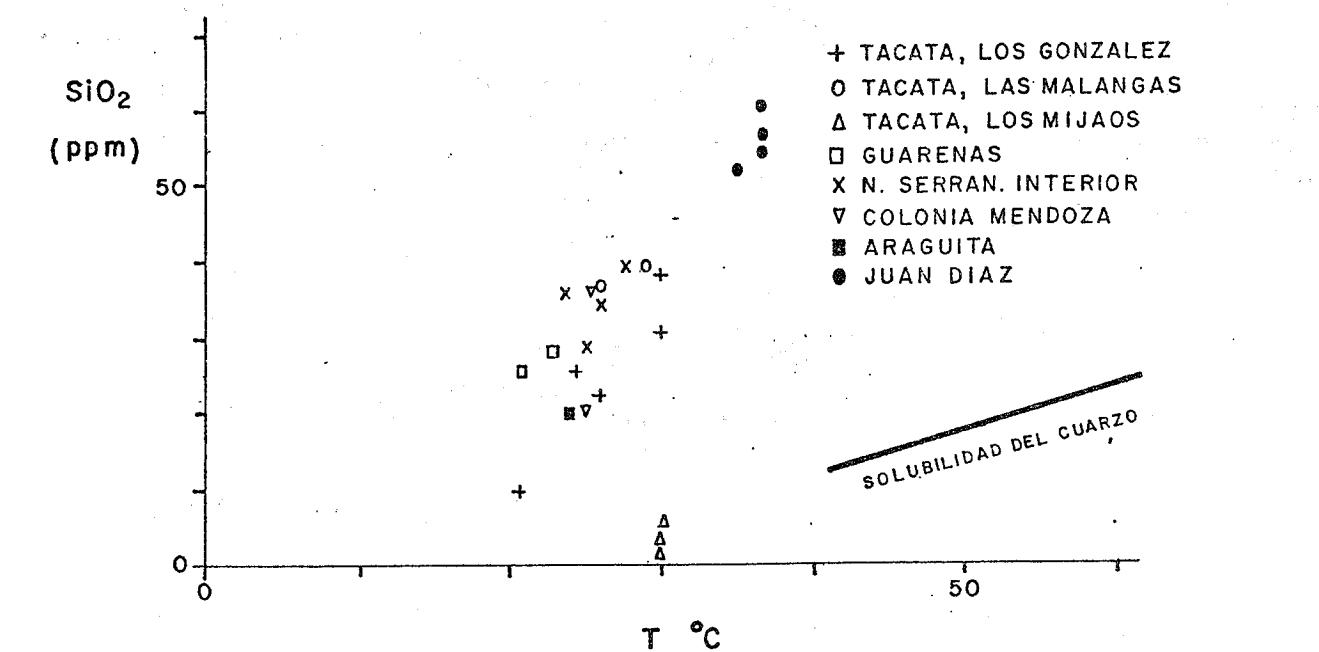


FIG.113 MODELO GEOLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES  
DE AGUAS TERMO-MINERALES DEL RIO MESIA, TACATA, MIRANDA

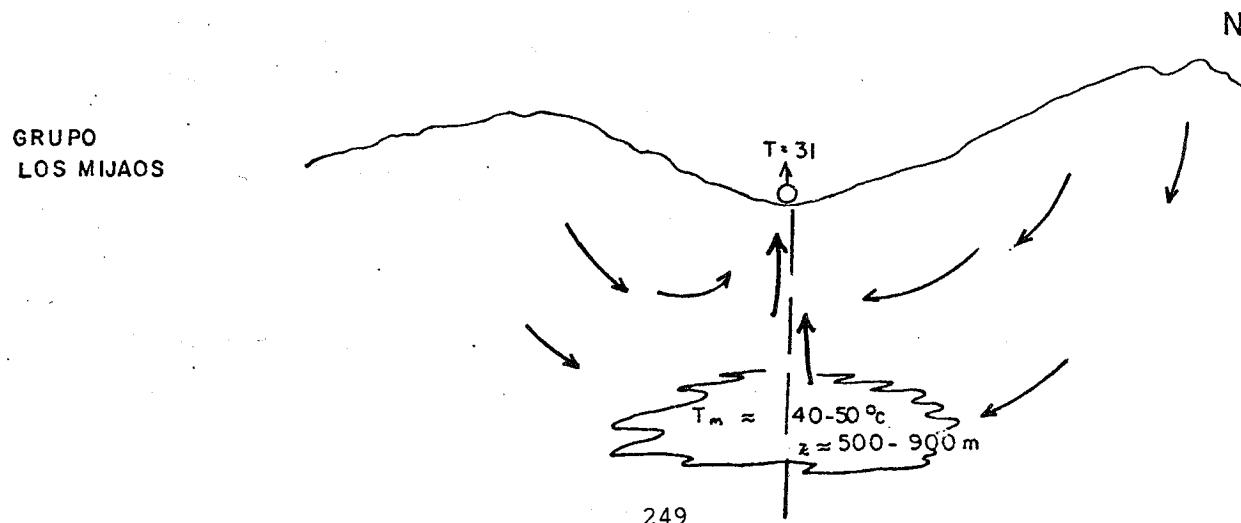
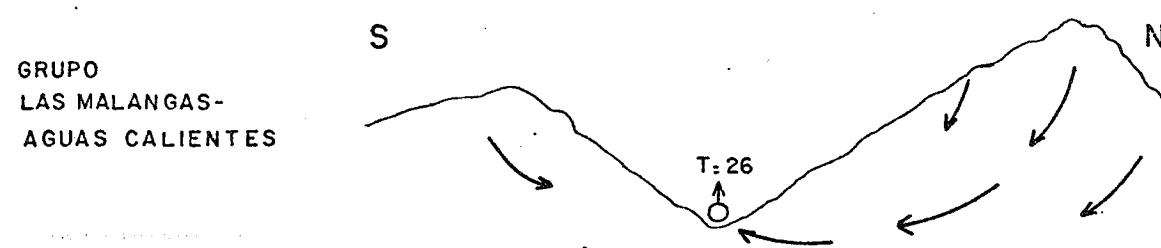
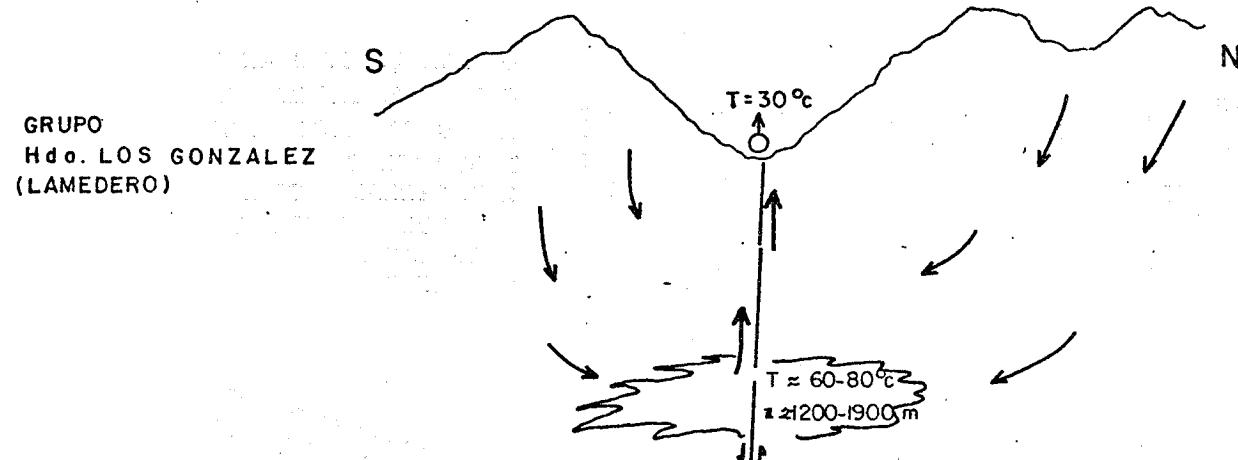


TABLA 36

Resumen de geotermómetros de las fuentes de Guarenas, Estado Miranda

Sigla	Tc	Tcz	Tcal	TNa-K-Ca	Tipo
Mi.1	23	78	47	35(31)*	$\text{SO}_4^{>>} \text{HCO}_3 > \text{Cl} \quad \text{Ca}=\text{Mg} \gg \text{Na}+\text{K}$
Mi.2	21	75	44	27(23)*	$\text{HCO}_3 > \text{SO}_4^{>>} \text{Cl} \quad \text{Ca Mg} \gg \text{Na}+\text{K}$

\* CORRECCION POR PRECIPITACION DE CALCITA

TABLA 37

Resumen de información geotermómetrica sobre las fuentes de la Cuenca del Tuy bajo y medio. Estado Miranda

I. Juan Diaz (Panaquire)

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	Tcal	TNa-K-Ca *	TSD
Mi.5	54	199	37	105	76	95	455
6	61	195	37	111	82	76	463
7	52	191	35	104	74	94	482
8	58	199	37	109	79	97	457
PROM.	56	194	37	107	78	19	464

\* CON CORRECCION POR Mg.

II. Casupo (Araguita, Caucagua)

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	Tcal	TNa-K-Ca	TSD
Mi.9	20	36	24	63	31	52	310

III. Colonia Mendoza (Ocumare del Tuy)

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	Tcal	TNa-K-Ca	TSD
Mi.3	37	585	26	89	57	73	1570
4	20	170	26	63	31	55	1330
Prom.	29	378	26	76	44	64	1450

DIAGRAMA DE PIPER

FIG. 114

FUENTES DEL AREA DEL TUY  
MEDIO Y BAJO, MIRANDA

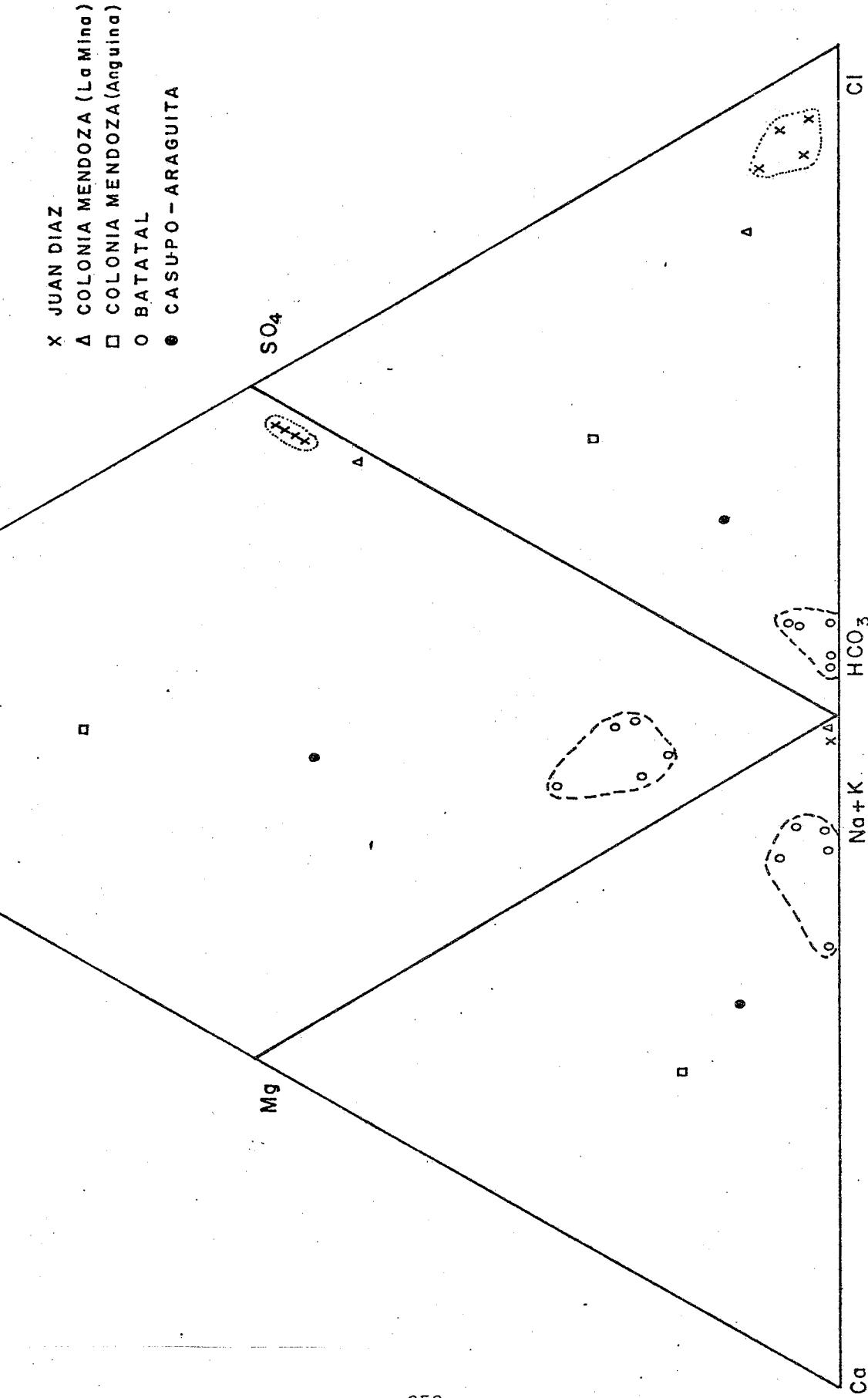


FIG. 115-A T vs SiO<sub>2</sub> DE LAS FUENTES TERMALES DEL TUY MEDIO Y BAJO,  
MIRANDA.

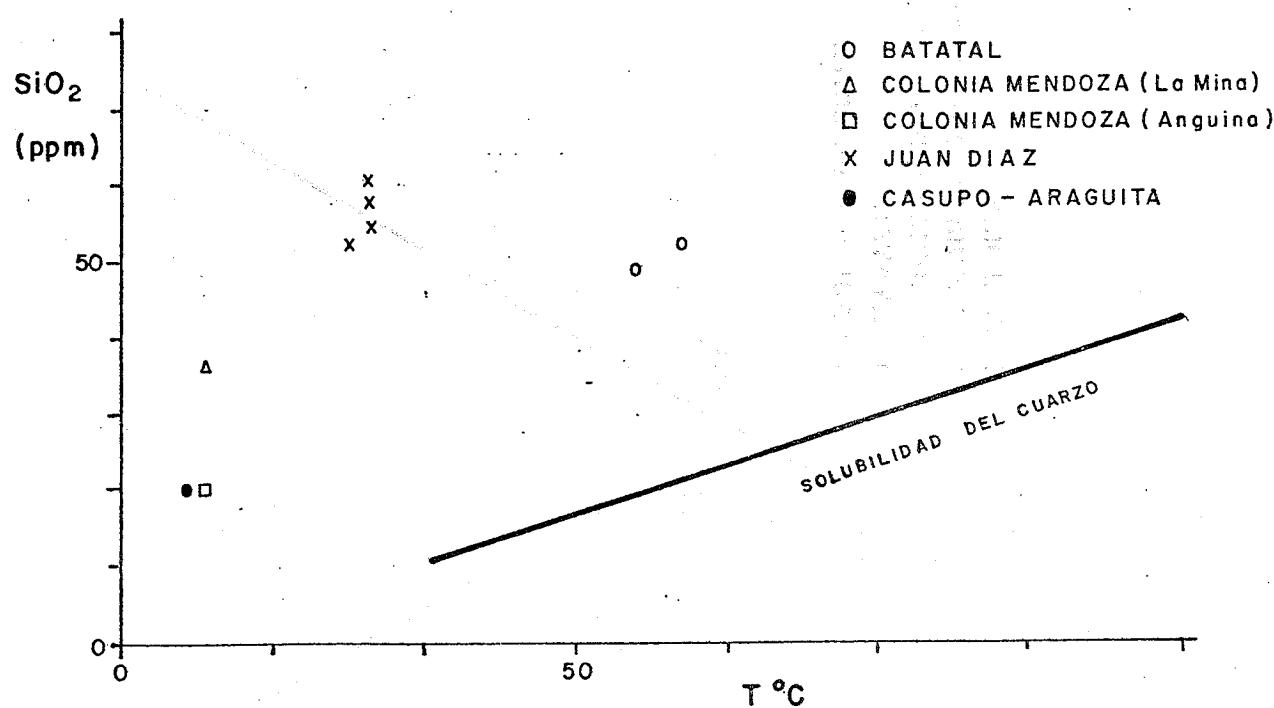


FIG. 115-B T vs SiO<sub>2</sub> DE LAS FUENTES DEL FLANCO SUR DE LA SERRANIA  
DEL INTERIOR.

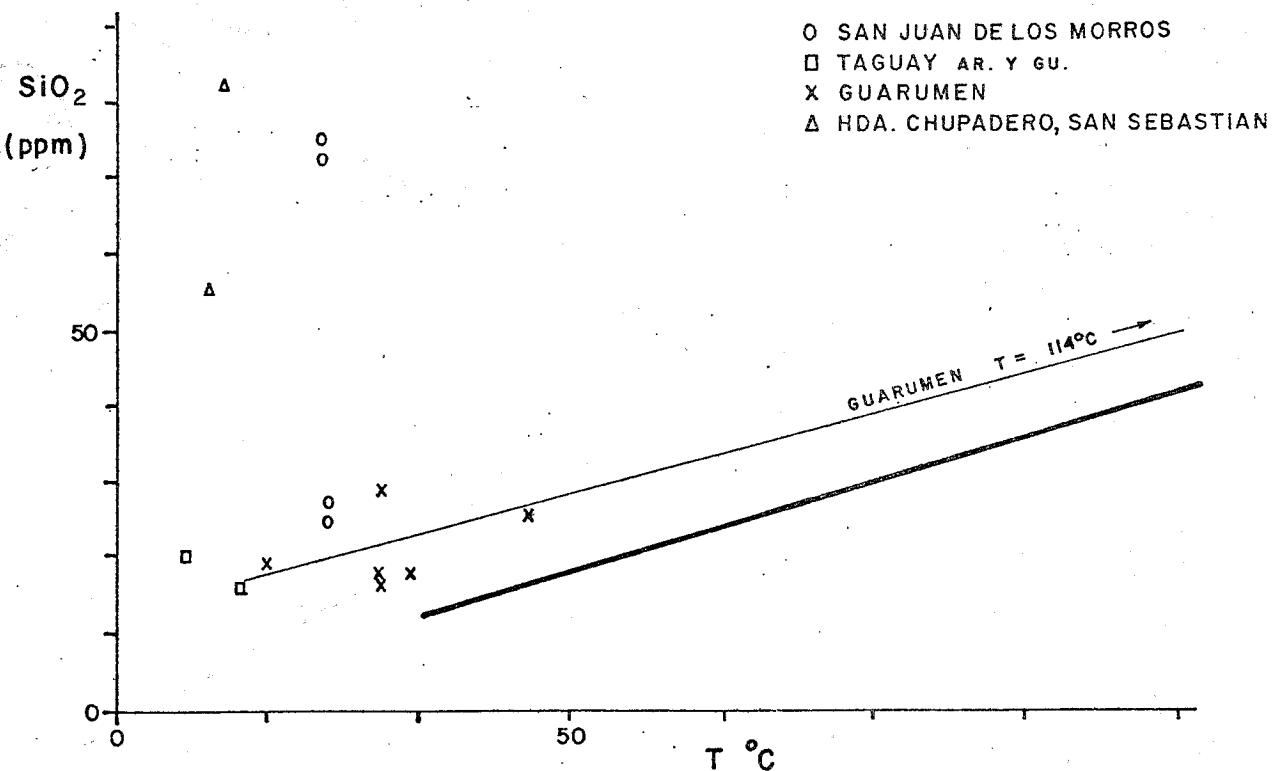
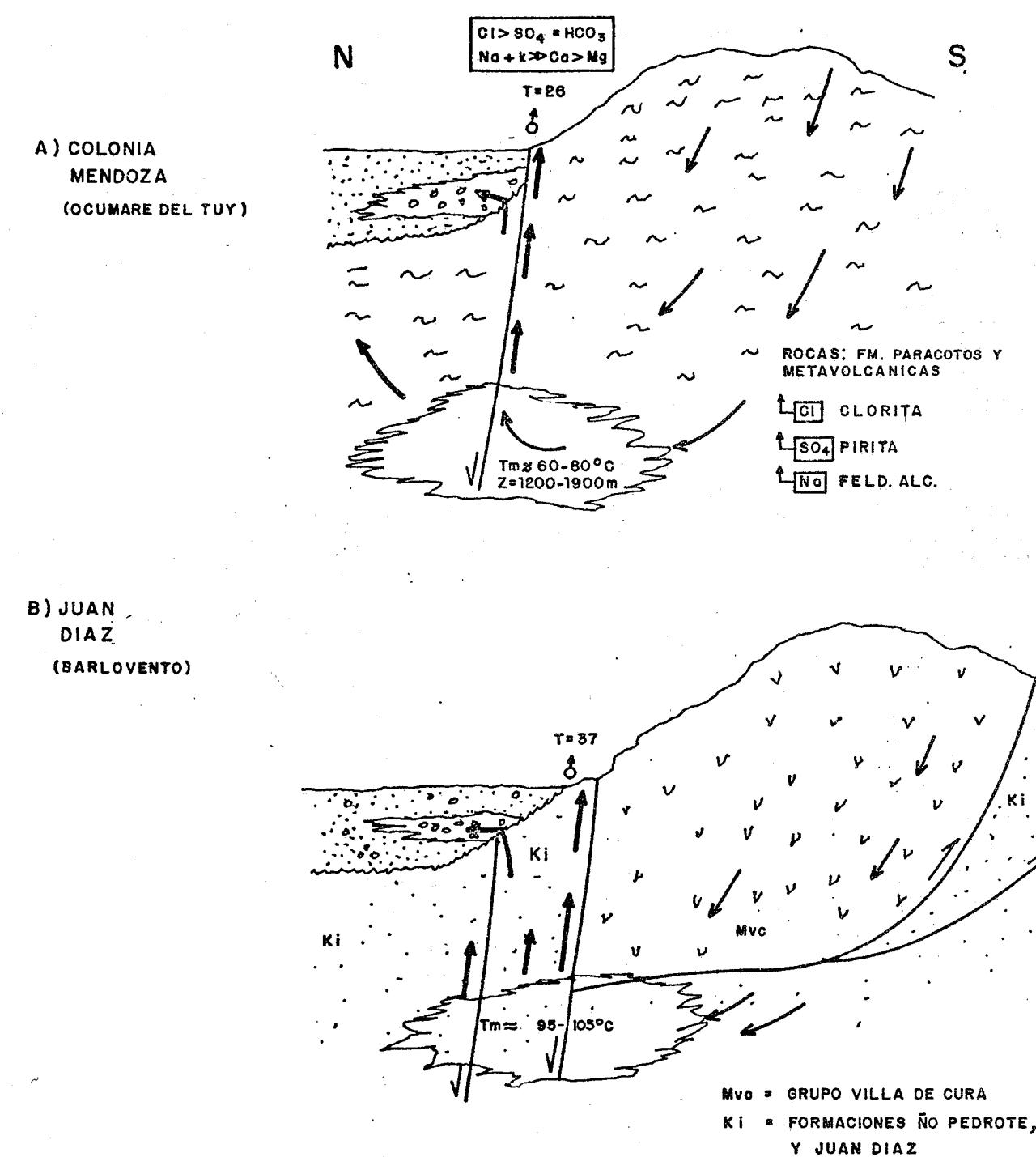


FIG. 116 MODELO HIDROLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES  
TERMALES DE LOS VALLES DEL TUY MEDIO Y BAJO



4.8. MANIFESTACIONES GEOTERMICAS DE LA FAJA SUR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA.

4.8.1. Fuentes de San Juan de Los Morros - Cerro Pelón, San

Sebastián - San Casimiro, Ortiz - Calabozo y Taguay.  
(IIt90, 191, f243).

Las fuentes de esta amplia región son de bajas temperaturas, desde iguales a  $t_{(m)}$  hasta un máximo de 34 °C, medida en la fuente de San Juan de Los Morros. Las tablas 38 a 41 presentan resúmenes de los valores estimados por geotermómetros químicos, y las figuras 115b y 117, presentan un diagrama de Piper y el gráfico  $t(c)$  vs.  $SiO_2$ , en donde se nota la diversidad en su composición química. Las fuentes más semejantes entre sí son aquellas de San Juan de Los Morros y San Sebastián.

En base a esta información interpretamos los siguientes valores preferenciales, para las posibles temperaturas máximas en los reservorios calientes profundos, que alimentan estos manantiales:

San Juan de Los Morros	70-85 °C
San Sebastián	80-110
Ortiz, Calabozo	50-80
Taguay	30-60

Se debe acotar que estas interpretaciones son bastante pobres para localidades como Ortiz, Calabozo y Taguay, ya que se tratan de manantiales únicos y aislados. En la fig. 104 se presenta un modelo y generalizado que pudiera adaptarse a todos estos sistemas.

TABLA 38

Resumen de información geotermométrica de la fuentes de la zona de San Juan de Los Morros, Estado Guárico

I. Fuentes termales de San Juan de Los Morros

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	Tcal	TNa-K-Ca	TSD
Gu.1	27	18	34	75	43	84	415
1A	25	35	34	72	40	83	428
2	23	28	25	69	36	46	153
Prom.	25	27	31	72	40	71	332

II. Fuentes de Camoruquito

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	Tcal	TNa-K-Ca	TSD
Gu.3	151	25	26	161	137	84	509
4	30	11	25	79	48	30	290
Prom.	91	18	26	120	93	57	400

III. Fuentes de Cerro Pelón

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	Tcal	TNa K-Ca	TSD
Gu.5	54	106	29	105	75	31	263
6	87	11	25	129	102	73	339
Prom.	71	59	27	117	89	52	301

\* CORRECCION POR Mg.

TABLA 40

Resumen de geotermómetros, fuentes de Ortíz, Calabozo, Guárico

TABLA 39

Resumen de información geotermométrica para las fuentes termales del San Casimiro y San Sebastián, Aragua

I. San Casimiro, Barrio Chupadero

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	Tcal	TNa-K-Ca	TSD
Ar.1	47	17	27	99	68	79	47
2	75	17	25	121	93	30	75
Prom.	61	17	26	110	81	55	61

II. San Sebastián, Hacienda Chupadero

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	Tcal	TNa-K-Ca	TSD
Ar.5	82	24	27	126	98	79	82
6	56	42	26	107	77	80	56
Prom.	69	33	27	117	88	80	69

Sigla	Tc	Tcz	Tcal	TNa-K-Ca	TSD
Gu.7	28	55	22	37	63
8	21	74	41	84 (44)*	748
9	28	86	54	82 (42)*	662
11	25	109	79	67	340

\* CORRECCION POR Mg.

TABLA 41

Resumen de información geotermométrica de las fuentes de Taguay Estados Aragua-Guárico

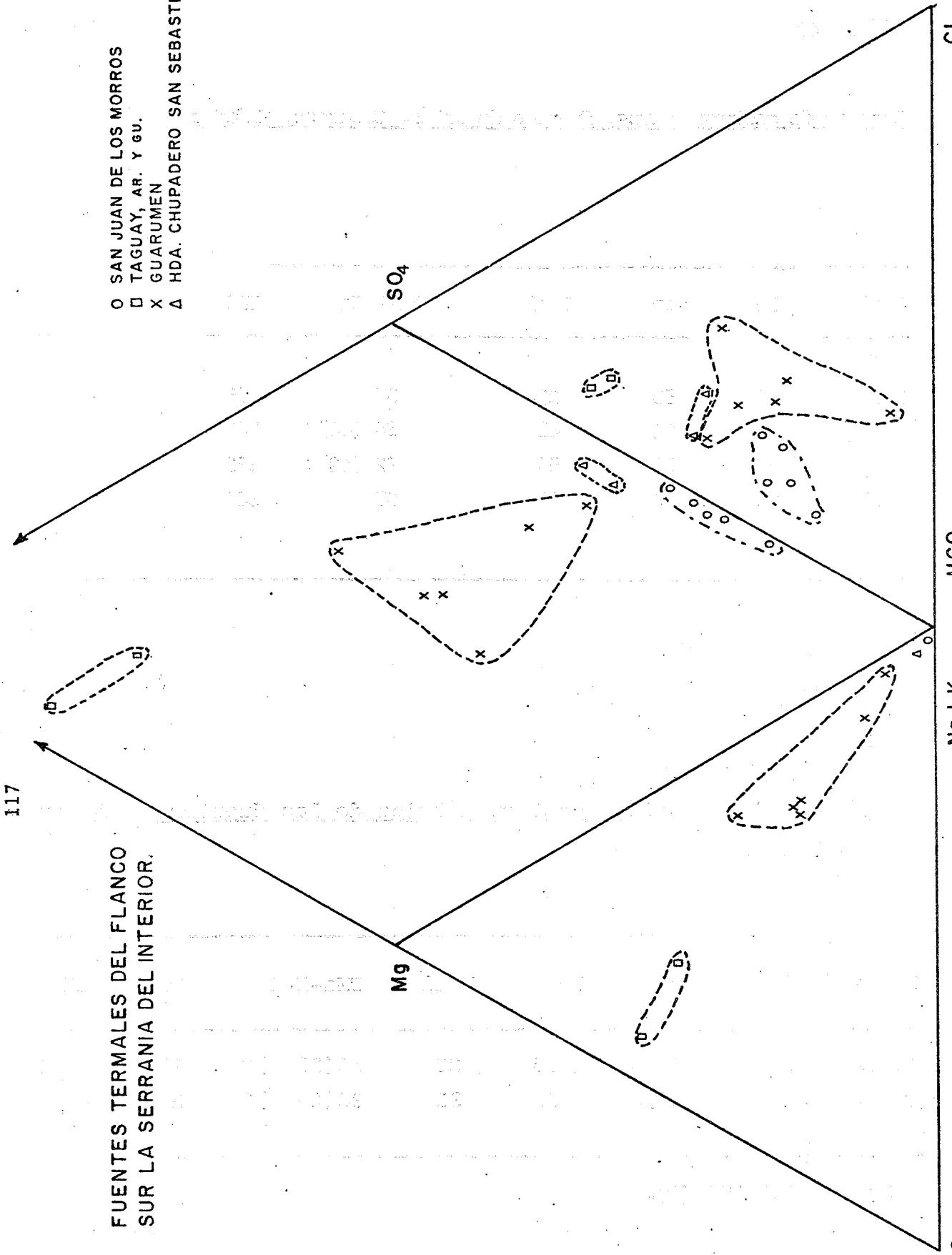
Sigla	SiO <sub>2</sub>	Tc	Tcz	Tcal	TNa-K-Ca	TSD	Tipo
Ar.12	16	28,5	55	23	18(28 )*	179	SO <sub>4</sub> -Mg
Gu.10	20	25,5	63	31	38(25 )*	240	SO <sub>4</sub> -Mg

\* CORRECCION POR Mg.

FIG. 117

FUENTES TERMÁLICAS DEL FLANCO  
SUR LA SERRANIA DEL INTERIOR.

SAN JUAN DE LOS MORROS  
O TAGUAY, AR. Y GU.  
O GUARUMEN  
A HDA. CHUPADERO SAN SEBASTIAN



#### 4.8.2. Fuentes de Guarumen. (IIt92, 194, f246).

Estos son los manantiales calientes meridionales de la zona central de Venezuela, tienen una temperatura máxima de 47°C, la cual se ha mantenido constante desde las primeras mediciones en 1876. El diagrama de Piper de la fig. 117 permite la comparación con otras fuentes de la región. La tabla 42 presenta un resumen de las temperaturas estimadas por los geotermómetros químicos, y en la misma tabla aparece el gráfico  $t(c)$  vs. SiO<sub>2</sub>, que con una correlación de 0,75, apunta a la existencia de un mecanismo de enfriamiento por mezcla (fig. 115b). A continuación se indica un resumen de temperaturas:

$t(c)m$	47°C
$t(cz)$	65 (promedio)
$t(alc)$	70 (promedio), 109 (máximo)
$t(wsmm)$	110-120

Con esta información se elaboró un modelo hidrológico (fig. 118), en el que se postula la existencia de un reservorio caliente profundo,  $t=110-120^{\circ}\text{C}$ , cuya agua pueda estar enfriándose tanto por conducción, como por ebullición, y posteriormente por mezcla con agua subterránea fría y de muy baja salinidad. Probablemente a un nivel intermedio con un intervalo de temperatura cercano a 70°C pueda producirse reequilibrio Na-K-Ca.

Es interesante notar que a 20 Km al este de Guarumen en el campo petrolero de Yagual, Barbacoas, en los pozos y a una profundidad de 2400 m la temperatura máxima medida es de 193°C, lo cual es un valor muy alto y representa un gradiente geotérmico de 6,9°C/100 m, tal temperatura hace que esta zona sea termalmente anomala (Hernan LEON, com. oral, 21-11-1983). Esto pudiera hacer pensar en la existencia de un reservorio caliente aun más profundo que el presentado en nuestro modelo, con temperaturas cercanas a 200°C, que podría estar emitiendo vapor que luego de condensarse en niveles menos profundos pudiera producir un componente caliente de muy baja salinidad. Por otra parte la evidencia de mezcla también obliga a pensar que el componente frío deba tener muy baja salinidad, para producir un resultado final, con valores de TSD cercanos a 45 mg/l.

TABLA 42

Resumen de información geotermométrica de las fuentes de Guarumen,  
Estado Guárico

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Tc	Tcz	TNa-K-Ca	TSD
Gu.13	27	47	75	109	80
14	18	39,5	60	52	35
15	19	30,5	62	55	41
16	18	37	60	73	37
17	17	37	57	62	32
18	28	37,5	77	71	47
Prom.	21	38	65	70	45

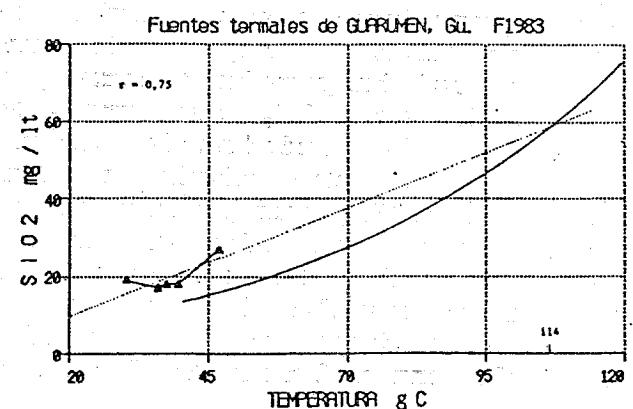
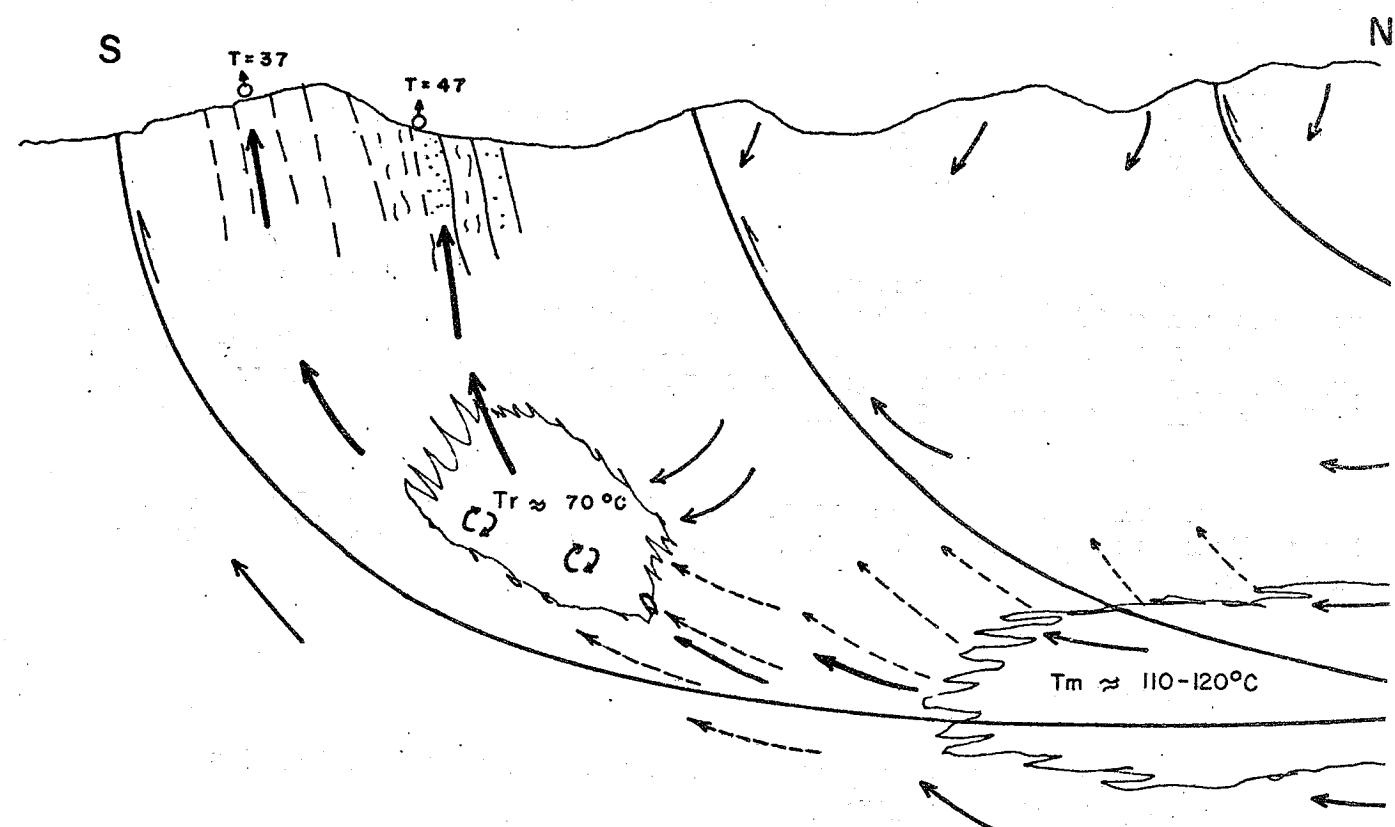


FIG. 118. MODELO GEOLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES TERMALES DE GUARUMEN EDO. GUÁRICO.



NOTA: A 20 Km AL ESTE DE GUARUMEN, EN EL CAMPO YAGUAL (BARBACOAS)  
A 2400m LA TEMPERATURA ES DE 193 °C  
(GRADIENTE 6,8 °C/100m).

Tabla 44. MODELO DE MEZCLA PARA LAS FUENTES TERMALES DE BATATAL, Miranda

4.8.3. Fuente de Batatal, Miranda. (IIt89, 189, f242).

Este es el manantial con agua mas caliente de la Cordillera de la Costa, a excepción de las fuentes costeras y de Las Trincheras - Mariara. Brota en la faja volcada de la Cordillera en la Formación Naricual, lo cual explica su carácter sulfuroso.

La tabla 43 presenta las temperaturas estimadas por los geotermómetros químicos, y se resumen a continuación:

$t(c)_m$	57°C			
$t(cz)$	88-104	97°C (promedio)		
$t(alc)$	58-67	65	"	
$t(wsmm)$	170			

Con esta información se postula la existencia de un reservorio caliente profundo con una temperatura cercana a 170°C, que en su ascenso se mezcla con agua subterránea fría, con un posible reequilibrio agua-roca modificando las relaciones Na-K-Ca en un intervalo 60-70°C.

A nivel del aluvión superficial tambien hay mezcla, que se ha podido evaluar con el modelo de mezcla presentado en la tabla 44.

TABLA 43

Resumen de información geotermométrica para las fuentes termales de Batatal, Estado Miranda

Sigla	SiO <sub>2</sub>	Cl	Tc	Tcz	Tcal	TNa-K-Ca	TSD
Mi.22	37	46	57	88	57	67	713
23	52	46	54	104	73	66	763
24	49	42	53	101	70	58	577
Prom.	46	45	54	97	66	63	684

Objeto del modelo

Predecir las características fisico-químicas de los "manantiales de composición intermedia", a partir de las aguas "puras" (termal y superficial), y obtener las relaciones o proporciones de las mezclas que ocurren.

Principios

Para la aplicación de este u otros modelos similares, se deben asumir diversos aspectos, ya resumidos en el artículo Geotermómetros químicos en exploración geotérmica, revisión bibliográfica (en el boletín Geotermia), así mismo, para nuestro caso particular debemos asumir que las composiciones de las aguas superficiales y termales "puras", realmente corresponden con la realidad.

Formulación

$t, r$  proporciones de agua termal y superficial que se mezclarán

$C_t$  parámetros físico-químicos del agua termal "pura"

$C_r$  parámetros físico-químicos del agua superficial "pura".

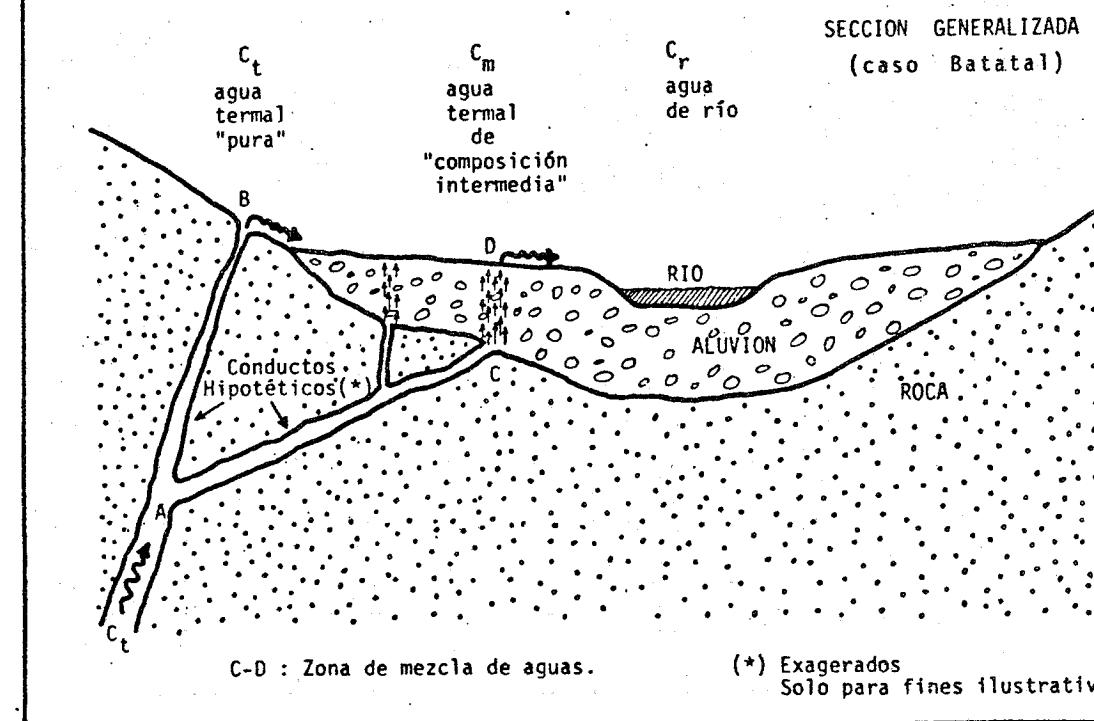
$C_m$  parámetros físico-químicos del agua termal de composición intermedia.

Los valores de  $C$  son conocidos, y  $t + r = 1$  para cualquier parámetro físico-químico, tendremos:

$t C_t + r C_r = C_m$  luego:  $t C_t + (1-t) C_r = C_m$ , entonces:

$$t = \frac{C_m - C_r}{C_t - C_r}$$

Esta sencilla fórmula es la base del modelo, y se puede aplicar a cualquier parámetro físico-químico, para determinar el valor de  $t$ , o sea la fracción de agua termal "pura" mezclada con el agua superficial fría.



### CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

Las fuentes termales de Batatal, se encuentran en la Qda. El Baño, cercano al caserío Batatal, cuenca del río Guapo, a tan solo 4 km del límite con el estado Guárico.

La zona de manifestaciones termales se localizan en un valle muy estrecho, y a lo largo de la quebrada aparece una zona aluvional, de unos 25 a 35 m de ancho, con un espesor estimado de 5 a 10 m. El agua termal es emitida en una zona de unos 15 x 10 m. El manantial principal (Mi.1) brota a un lado del valle sin cruzar el espesor de aluvión, por consiguiente se presume que dicha agua procede directamente del subsuelo, a través de fisuras de la roca (areniscas y lutitas de la Formación Naricual).

Así mismo, hay una emisión menor (Mi.2), que aparece en el medio de la zona aluvional, a escasos 1 a 2 m del cauce activo de la quebrada El Baño, por consiguiente, el agua termal en su ascenso forzosamente debe cruzar de 5 a 10 m de aluvión, mezclándose con el agua ahí presente. (Fig. 2)

### CARACTERISTICAS FISICO - QUIMICAS DE LAS AGUAS

Se recolectaron muestras de agua de las dos fuentes termales, así como del agua de la quebrada, aguas arriba y fuera de la influencia termal. De una comparación de los resultados, se nota que las determinaciones de la fuente termal Mi.2, son intermedias entre las del Mi.1 y el agua de la quebrada (Mi.R.2). Esto hace suponer, que Mi.2 es una mezcla de cierta cantidad del agua termal "pura", con agua de la quebrada, que fluye a través de la porosidad del aluvión.

### EL MODELO DE MEZCLA

A parte de las consideraciones anteriores, que se refieren a un caso particular, podríamos generalizarlo como sigue:

#### Observaciones

En una zona con diversas manifestaciones termales, se observa que hay "manantiales de composición intermedia", entre una "agua termal pura" y el agua del drenaje adyacente, o "aguas superficiales". Además las observaciones geológicas, permiten predecir que existe una zona (áluvion, etc.) donde ambas aguas puedan mezclarse en proporciones intermedias.

#### Una aplicación

En los análisis físico-químicos rutinarios de aguas, se determinan por lo menos 20 parámetros distintos, por consiguiente y debido a las diferencias imputables a la composición real de las aguas en la naturaleza, así como a problemas analíticos, la aplicación de la fórmula anterior, dará resultados distintos para cada parámetro físico o cada componente químico con el cual se calcule  $t$ .

En la tabla 1, presentamos como ejemplo los análisis físicos-químicos de las fuentes termales de Batatal (cols. 1, 2 y 3), y en la columna 4, aparece el valor de  $t$  calculado.

Los 21 valores de  $t$  se han representado en el histograma de la fig. 1, deduciéndose que sigue una distribución normal, lo cual afianza la hipótesis de mezcla.

Para la determinación del valor preferencial que vamos a presentar de  $t$ , procederemos como sigue:

a) A los 21 valores de  $t$  se le determina el promedio y la desviación típica:

$$\bar{t} = 0,531$$

$$s = 0,520$$

$$n = 21$$

Con estas cifras se determina que el intervalo  $\bar{t} \pm 2s$  es de -0,509 a +1,572. El único parámetro que produce un valor de  $t$  fuera de este intervalo es el Mg, con  $t=1,333$

b) Eliminando el  $t$  correspondiente al Mg y volviendo a calcular, obtenemos:

$$\bar{t} = 0,625$$

$$s = 0,305$$

$$n = 20$$

Considerando nuevamente el intervalo  $\bar{t} \pm 2s$ , eliminamos el componente  $SO_4^{2-}$  ya que produce un  $t=1,25$

c) Eliminado los  $t$  correspondientes a Mg y a  $SO_4^{2-}$ , obtenemos:

$$\bar{t} = 0,592$$

$$s = 0,274$$

$$n = 19$$

Como ya hemos eliminado los dos parámetros que producían más error (cerca del 10% del total), ja no es razonable seguir eliminando mas, por consiguiente este valor de  $t$  (0,59) será nuestro valor preferencial, pero es preferible redondear a 0,6.

#### Predicción de la composición intermedia

Con las fórmulas iniciales, podemos arreglarlas para utilizar el valor de  $t$  determinado y estimar la composición del "agua termal de composición intermedia":

$$C_m = t C_t + (1 - t) C_r$$

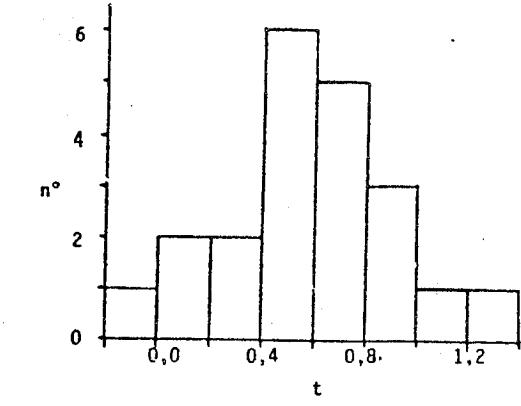
Con esta fórmula hemos calculado los valores de predicción que aparecen en la col. 5 de la tabla 1

#### RESULTADOS

1.- El agua de composición "intermedia" de Batatal (Mi.2), para el momento de la recolección de muestra, estaba constituida por una mezcla de un 60% del agua termal pura y un 40% del agua fría y superficial que circula por el aluvión.

2.- Los valores que se predicen para  $C_m$  concuerdan bien, y en forma estadísticamente significativa, con los valores del análisis.

Tabla 44. Continuacion



Histograma de los valores calculados de  $t$ .

3.- La aplicación de este modelo, permitió determinar que hay dos componentes (Mg y  $SO_4^{2-}$ ), que producen una gran desviación, y cuyos valores reales son casi la mitad de los valores estimados. Esto nos obliga a pensar en alternativas que permitan su explicación. Si a priori descartamos la posibilidad de errores analíticos, podríamos sugerir que está ocurriendo algún proceso de precipitación. De hecho, en las rocas adyacentes a la fuente termal principal, se encuentra un depósito amarillento con sabor amargo que pudiera ser epsomita ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ), pero aún no se ha confirmado con análisis.

4.- Además de Mg y  $SO_4^{2-}$ , también hay discrepancias mas o menos grandes con: turbiedad, índice de langelier, Cl, Mn (dis.), dureza y  $CO_2$ . Preliminarmente esto lo pudieramos explicar como sigue:

La disminución de índice de langelier (aumento de "agresividad"), quizás se deba a la mezcla de dos aguas con diferente contenido de  $CO_2$ , lo cual le imparte al agua mezclada un mayor poder de disolución (efecto "Mischungskorrosion"), o sea mas "agresividad".

La diferencia del  $CO_2$  en el agua Mi.2 (82 medido vs. 333 calculado), podría explicarse por el hecho de que al cruzar el aluvión, se estimularía el desprendimiento de  $CO_2$ , al entrar el agua en contacto con los guijarros angulares del aluvión, así como por la turbulencia que se puede causar. Esto mismo podría invocarse para explicar el aumento de la turbiedad y la disminución de la dureza.

	(1) $C_t$ fuente 1 Mi.1	(2) $C_r$ quebrada Mi.R.2	(3) $C_m$ fuente 2 Mi.2	(4) $t$	(5) $C_m$ calculado
color Ap. real	10 5	100 50	25 15	0,833 0,778	47 23
turbiedad	1	10	8	0,222	5
pH	6,3	7,8	7,0	0,533	6,9
Conduct.	1120	480	860	0,594	859
Min. dis.	967	337	746	0,649	710
Ind. lang.	-0,9	-0,4	-0,5	0,200	-0,7
Cl	30	87	25	1,088	53
$SO_4$	7	15	5	1,250	10
F	0,84	0,1	0,5	0,541	0,5
$NO_3$	0,38	1,12	0,70	0,568	0,68
Fe tot.	0,28	4,30	1,5	0,697	1,92
dis.	0,28	4,00	0,9	0,833	1,80
Mn tot.	0,26	0,66	0,43	0,575	0,42
dis.	0,18	0,66	0,18	1,000	0,38
Dur. tot.	160	84	94	0,132	128
Alcal.	550	106	420	0,707	369
$CO_2$	561	3	82	0,142	333
Ca	38	14	24	0,417	28
Mg	15	12	8	-1,333	14
Na+K	205	74	170	0,733	152

#### IV. REGION OCCIDENTAL

##### 4.9. ESTADO FALCON. (IIt94, 200, f259).

###### 4.9.1. Fuentes termales del area de San Juan de La Vega, Pecaya.

En los alrededores del caserío de San Juan de La Vega, a unos 15 Km al SO de la Sierra de San Luís, se localizan las fuentes de Los Pilancones, Sorofoy y Salineta, con temperaturas de campo variabes de 30,2 a 39,0 °C. En los Pilancones se tiene un extenso cono de travertino de calcita, con un total de 75 brotes o huecos con agua termal, en donde en la actualidad solo se depositan los minerales *trona* y *alanita*. Esta zona se caracteriza por las fuertes emisiones de CO<sub>2</sub>. Los valores estimados de temperaturas obtenidos con los geotermómetros químicos, son los siguientes:

nombre	número de muestras	t (cz)	t (alc) (Na - K - Ca)	intervalo	promedio
Pilancones 1	4	72	95-101	98	
Sorofoy	1	72	111		
Salineta	1	72	77		

Con estos valores vemos que t(alc) > t(cz), lo cual sugiere procesos de enfriamiento por mezcla, que seguramente es valedero, sobre todo ante la enorme diversidad de tipos de agua que se observan en Los Pilancones, pero de existir mezcla esta no se puede evaluar con los datos disponibles, ya que los cuatro análisis de Los Pilancones, todos tienen la misma concentración de SiO<sub>2</sub> y de Cl. Posiblemente los tipos de agua envueltos en un proceso de este tipo tengan contenidos semejantes en lo que respecta a los elementos señalados.

En la fig. 118 se propone un modelo donde se postula a la Sierra de San Luís como la zona de infiltración predominante, ahí funciona un aparato de drenaje subterráneo cársico, que suple tanto a las resurgencias cársicas al pie de la sierra, como a un proceso de circulación mucho mas profundo, que luego circularía hacia el sur a traves de rocas de la Formación Pecaya con un contenido relativamente elevado de Piritita (evidenciado por la presencia de yeso y jarosita). En esta parte, las aguas tenderán a enriquecerse en sulfatos, a traves de la oxidación de la piritita; mas al sur estas aguas al circular lentamente se encuentran con una zona especialmente permeable, las areniscas de San Juan de La Vega, que les permite ascender y llegar a la superficie. Para alcanzar una temperatura máxima en el subsuelo de 100°C, considerando solo el gradiente geotérmico normal, se requeriría un profundidad de circulación de unos 2,4 Km. Debido al bajo caudal de estas manifestaciones,

el componente de enfriamiento conductivo debe ser muy fuerte, aun cuando puede haber cierto grado de mezcla, que no se puede evaluar con la información disponible.

Como se indicó en el capítulo 3, es notorio que estos manantiales brotan en lugares donde existen extensos depositos antiguos de calcita (el mayor cubriendo un area de 150 x 60 m), así mismo hay evidencia de una mayor temperatura superficial en el siglo pasado (50 °C en 1834 a 1859). Esto sugiere un notable cambio del régimen químico y térmico de las aguas. Para esto se sugiere la siguiente explicación:

1) En el pasado (edad indefinida), la parte occidental de la Sierra de San Luís estaba cubierta de bosques espesos, como hoy existen en su parte oriental, pero a través de diversos procesos de cambio climático no definibles con exactitud, en los que posiblemente tenga intervención el ser humano (post 1550), la zona en general se fue desertificando, hasta lo que es hoy en día. En la etapa inicial de fuerte infiltración de aguas cársicas bicarbonatadas cárnicas, el fuerte gradiente hidráulico establecido podría alimentar los manantiales artesianos de Los Pilancones y Sorofoy, el ciclo hidrológico estaría caracterizado por grandes caudales y poco tiempo de residencia de las aguas en el subsuelo. Simultaneamente con la alimentación de estos ciclos hidrológicos profundos, también se formarían grandes manantiales cársicos al pie de la Sierra. Al llegar a la superficie esta agua bicarbonatada cárnea, por pérdida de CO<sub>2</sub> produce la precipitación de calcita.

2) La progresiva desertización de la región, disminuye la tasa de infiltración y aumenta la de evapotranspiración, así que el caudal de agua que hoy en día puede alcanzar los niveles mas profundos de circulación son notablemente mas reducidos, dando como resultado un largo tiempo de circulación, a través de las rocas sedimentarias marinas y no calcáreas (formaciones Pecaya, Paraíso y Miembro San Juan de La Vega), que permitiría aumentar notablemente los niveles de Cl, Na y SO<sub>4</sub> en el agua. Por otra parte, la fuerte disminución del caudal permite un mayor enfriamiento conductivo. De ahí quizás, la disminución de unos 20°C, en un poco mas de 100 años. En el subsuelo la temperatura máxima existente en los puntos mas profundos de circulación, no tiene necesariamente que haber cambiado, ya que la disminución de la temperatura con el tiempo es explicable por el tipo de enfriamiento.

Según los vecinos, los manantiales de esta zona no tienen cambio alguno durante el año, ni en temperatura ni en caudal, lo cual afianza lo señalado sobre las condiciones de lenta circulación y recarga. Por otra parte, al pie de la Sierra de San Luís, en las cercanías de Pecaya y Magüey, hay extensos mantos cartografiados como caliche, los cuales fueron formados por manantiales cársicos de pie de sierra, hoy en día prácticamente secos. Esto también atestigua los drásticos cambios climáticos acaecidos en la región.

Esta zona debió sea termalmente anómala, ya que en los alrededores de Pecaya y San Juan de La Vega, hay evidencias de intensa actividad hidrotermal pasada, apreciable por las abundantes vetas (drusas) de cuarzo y de calcita, en las cuales es evidente el fuerte tectonismo, ya que en casi todas ellas se nota la presencia de estriadas de fallas. Como ejemplo diremos, que en una veta de calcita de 10 cm de espesor, hemos observado hasta 5 planos diferentes con estriadas, con direcciones variables con diferencias angulares de hasta 30°. Así mismo Emira CABRERA (com. oral, 3-11-1983), señala que las lutitas de la Formación Pecaya en esta zona están *sobreexplotadas*, es decir que han sufrido un proceso de calentamiento suficiente como para haber extraído todos los hidrocarburos que pudo contener originalmente, de hecho muchas veces estas lutitas tienen un aspecto astilloso y pizarroso.

#### 4.9.2. Fuentes termales del área de La Vela de Coro.

En los alrededores de la estructura de La Vela de Coro (GONZALEZ DE JUANA, 1971), existen diversos manantiales como los de Guadalupe, Taima - Taima y Carrizal, con una temperatura máxima de 30,8 °C, pero constante durante el año, y sin variación desde 1878. El caudal es bajo pero aparentemente sin variaciones estacionales. Todo esto induce a pensar en una circulación lenta a partir de una zona de recarga lejana, en este caso la parte oriental de la Sierra de San Luís.

El único dato disponible de geotermómetros, nos indica una posible temperatura de 97 °C [t(alc)], pero aquí disponemos de una temperatura del fondo de un pozo petrolero cercano, donde llega a 132°C (Emira CABRERA, com. oral, 3-11-1983). En la fig. 120 se presenta un esquema hidrológico, donde se sugiere que la circulación del agua pueda estar facilitada por la existencia de varios planos de fallas de corrimiento que tienen un ligero buzamiento sur. Hay evidencias de que estos manantiales, han estado activos quizás desde el Pleistoceno, ya que asociados a ellos hay varios yacimientos de vertebrados fósiles, cuyo proceso de fosilización pudo ser facilitado por la fuerte mineralización de las aguas.

#### Manantiales de la zona de Siburúa, Meachiche y San Antonio.

Este es un interesante grupo de manantiales, de los cuales no se dispone de información suficiente para poder establecer interpretaciones adecuadas. En esta zona se distinguen cuatro tipos de manantiales:

- Manantiales frios (21°C) de origen claramente cársico, como Siburúa (GASCOYNE, 1978; GONZALEZ DE JUANA, 1948).
- Manantiales tibios (38°C) y sulfurosos: San Antonio.
- Manantiales frios o tibios, sulfurosos: Meachiche.
- Pozos de agua con agua caliente (hasta 43°C): Meachiche.

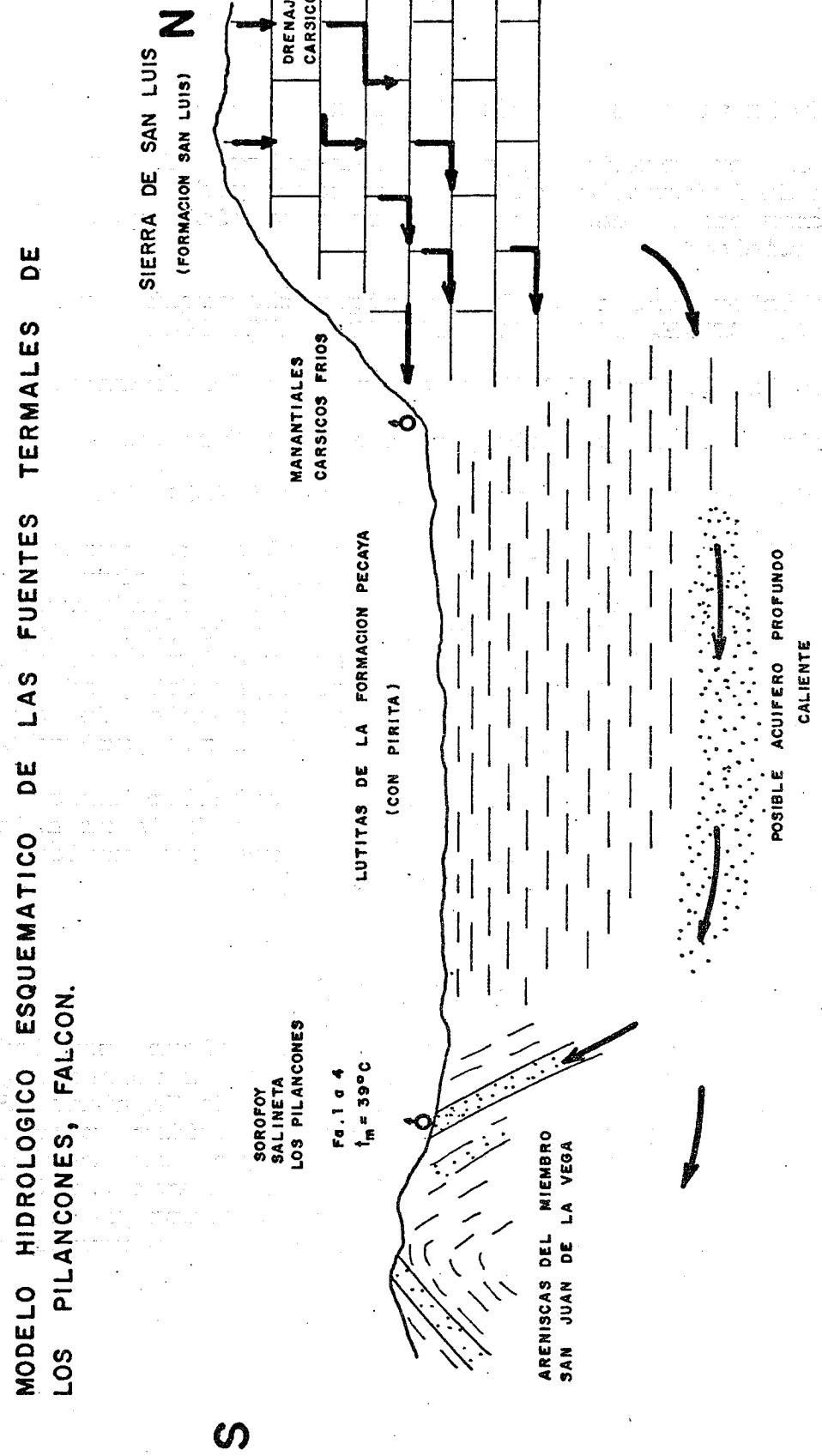
Los manantiales están controlados por fallas con rumbo N-S, que atraviesan toda la Sierra de San Luís, y que deben ser lo suficientemente profundas para permitir: (1) la infiltración profunda de las aguas, desde la zona con topografía cársica en la cima de la Sierra, (2) el ascenso de aguas a través de ellas y formación de manantiales en las tierras bajas del piedemonte de la Sierra, (3) crean zonas propicias para mezcla de aguas cársicas con aguas de un posible reservorio caliente profundo.

La fig. 121 presenta un diagrama muy tentativo donde solo se intenta explicar parte del ciclo hidrológico de la zona, por no disponer de datos que permitan hacer una evaluación de posibles componentes calientes profundos.

#### Otras manifestaciones del estado Falcón.

De las demás manifestaciones del estado Falcón señaladas en la tabla II It94, no se conoce otra cosa que su ubicación, y que tienen olor a H<sub>2</sub>S, a excepción de la fuente de Tapatapa (Fa. 11), a la cual en una oportunidad intentamos visitar, pero sin lograrlo, donde los vecinos aseguraron que son bastante calientes. Las fuentes de la zona de Urumaco fueron visitadas pero se carece de análisis, y su carácter sulfuroso procede de la circulación a través de rocas carbonosas, que usualmente tienen alto contenido de azufre.

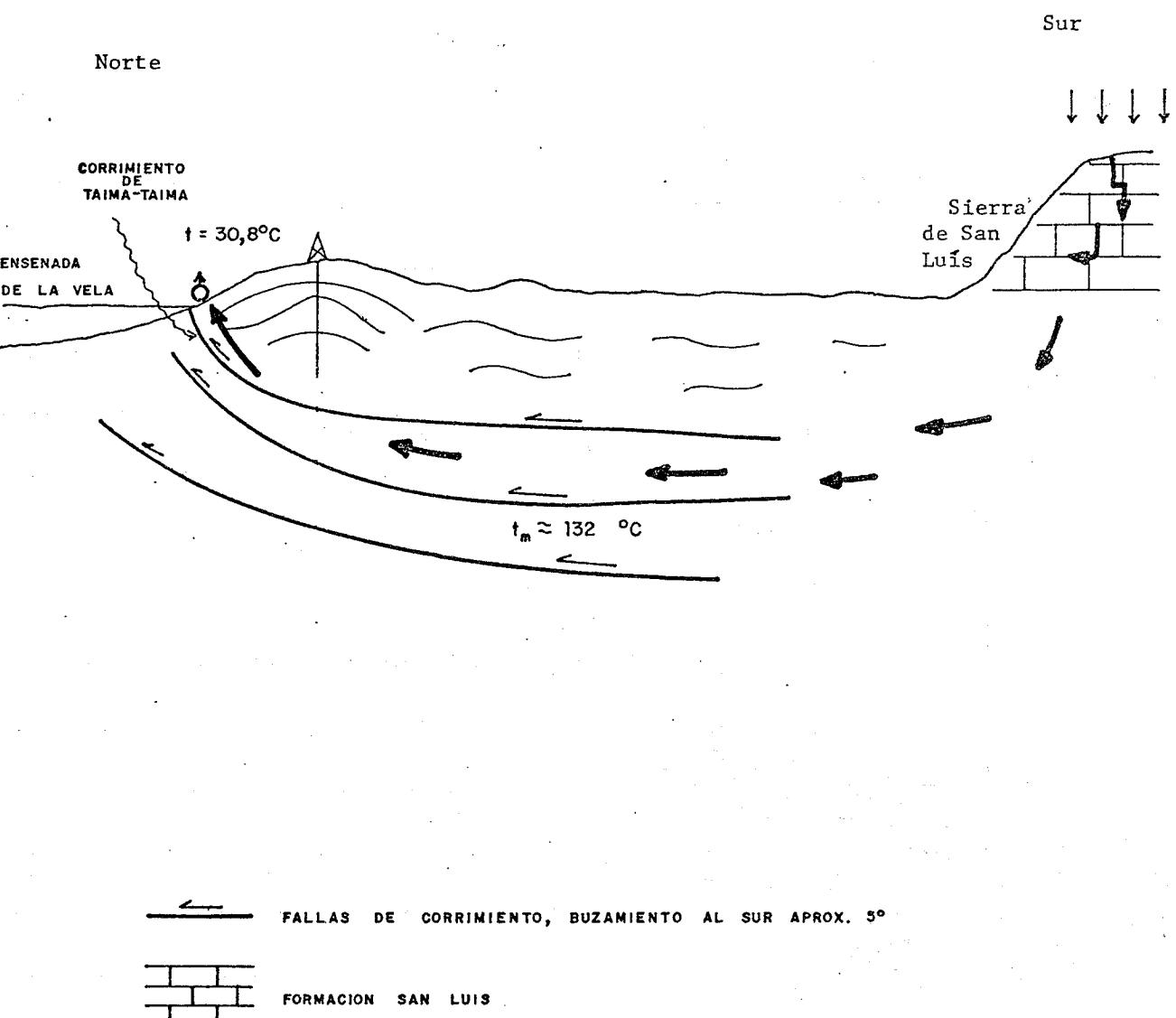
FIG. 119. MODELO HIDROLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES TERMALES DE LOS PILANCONES, FALCON.



119

271

FIG. 120. MODELO GEOLOGICO E HIDROLOGICO ESQUEMATICO DE LA FUENTE DE GUADALUPE, LA VELA DE CORO, FA.

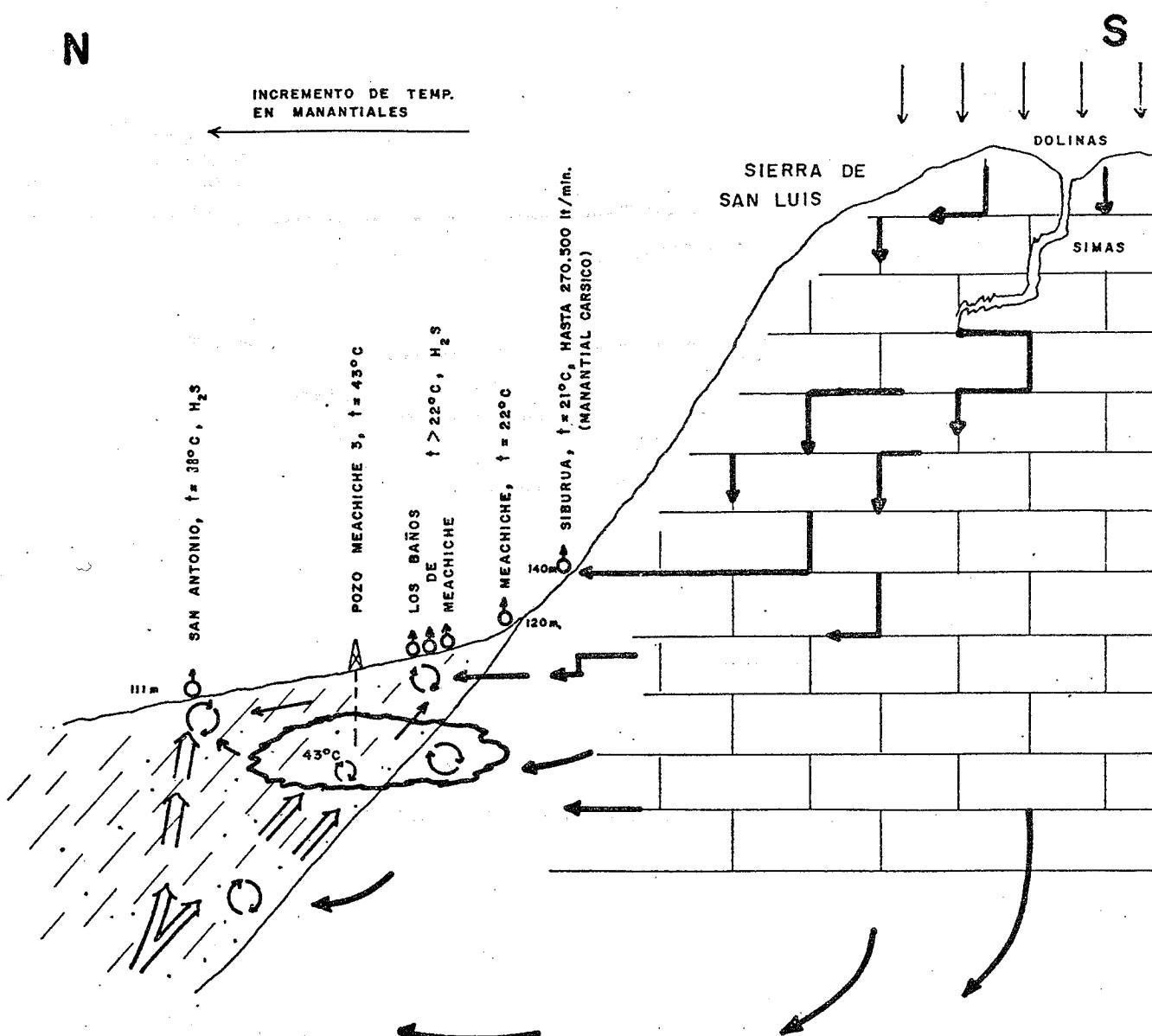


272

#### 4.10. ESTADO LARA. (IIt97, f259b).

##### 4.10.1. Volcán de Sanare y Volcancito de San Miguel.

FIG. 121 MODELO HIDROLOGICO ESQUEMATICO DEL FLANCO NORTE DE LA SIERRA DE SAN LUIS (MEACHICHE-SIBURUA-SAN ANTONIO), Fa.



La primera de estas manifestaciones es una fumarola con poca actividad, donde en 1931 se midió una temperatura de  $115^{\circ}\text{C}$  a 60 cm dentro de una grieta, esta es la máxima temperatura que se haya registrado en Venezuela en superficie. En el caso del Volcancito de San Miguel se ha medido una temperatura máxima de  $85^{\circ}\text{C}$  en la emisión de vapor. Aquí encontramos un fenómeno de gran importancia, pero sin estudios que presenten suficientes datos químicos que permitan una evaluación adecuada. Hasta la fecha solo disponemos de dos buenos trabajos descriptivos: NECTARIO MARIA (1931) y DE BELLARD (1983). En estos trabajos y en otros que los citan (CENTENO GRAU, 1969), y en comunicación oral de Viterbo GUEDEZ (2-3-1984), todos concuerdan en atribuir el origen de la termalidad de esta área a la oxidación de la pirita, cuya reacción exotérmica liberaría el calor suficiente para explicar el fenómeno de las fumarolas.

Sin querer polemizar al respecto, ya que para la fecha se carece de base para ello, consideramos que esta explicación no tiene la suficiente sustentación, y a título comparativo y con un carácter cualitativo, indicaremos las siguientes observaciones:

- 1) Ninguno de los autores demuestra, que en la zona exista la pirita necesaria para explicar este proceso.
- 2) Si este mecanismo fuera el causante, ¿porqué no actúa en otras partes de Venezuela ?, por ejemplo: a.- En los Andes y Perijá, donde aflora la Formación La Luna, en la cual hemos encontrado muestras con hasta 15% de pirita. b.- En Oriente, donde ocurre lo mismo con la Formación Querecual. c.- En zonas mineras con altas concentraciones de sulfuros de hierro, como en Arroa, Yaracuy y Bailadores, Mérida.
- 3) Durante la ejecución del proyecto *Inventario Geotérmico Nacional*, se han estudiado muchísimas zonas con rocas ricas en pirita, en las que usualmente los manantiales asociados son sulfurosos pero frios o apenas tibios. Entonces ¿porqué estas fumarolas no están mas generalizadas en Venezuela a través de las extensas zonas donde existen rocas piritosas ?.
- 4) El túnel de Yacambú, perfora rocas semejantes a aquellas donde se encuentra el Volcán de Sanare, pero dentro del mismo no hay temperaturas anomalas.

Después de las anteriores interrogantes, y en base a las descripciones publicadas (NECTARIO MARIA, 1931 y DE BELLARD, 1983), los mapas de geología de superficie de LAGOVEN S.A., y el trabajo de SCHUBERT (1982) sobre la falla de Boconó, nos permitimos extraer los siguientes hechos, que consideramos de

interés para una explicación del fenómeno:

- Las fumarolas se encuentran en la zona de fallas de Boconó: el Volcán de Sanare a 1 Km de la traza activa y el Volcancito de San Miguel a 3,5 Km de la misma. Esto debe ser el factor básico controlante de las manifestaciones. Por el estudio de la actividad sísmica reciente de esta falla, se puede determinar que las profundidades focales alcanzan entre 10 y 12 y quizás hasta 15 Km (Andres SINGER, com. oral, 24-2-1984).

- La temperatura y actividad es mayor en el Volcán de Sanare, justamente el más cercano a la traza de la falla.

- No se han señalado fuentes termales en los alrededores, a excepción de una laguna de agua sulfurosa mencionada por NECTARIO MARÍA cerca del Volcancito de San Miguel.

- Las emanaciones son de vapor de agua y H<sub>2</sub>S, y estas son mayores en época de lluvias, cuando se llega oír el ruido de explosiones. También se señala mayor actividad después de sismos fuertes.

- Las rocas aflorantes en la zona son lutitas de la Formación Trujillo (Eoceno).

- Llama la atención el hecho que la fumarola de Sanare, se encuentra a media ladera de una montaña de gran pendiente y no en la parte topográficamente más baja de la misma, y más cerca de la traza de la falla de Boconó. Esta configuración solo la creemos explicable por una zona particularmente permeable dentro de las rocas de la Formación Trujillo, a manera de chimeneas de fracturas, donde las emanaciones solo brotan en su intersección con la superficie, con poca posibilidad de pérdida lateral de fluidos, debido a la impermeabilidad de las rocas.

Con esta escasa información, se prefiere explicar estas manifestaciones en términos de una infiltración profunda de aguas meteóricas, a partir de las montañas al norte y al sur de la falla de Boconó, descenso a niveles relativamente profundos (3 Km serían suficientes), allí pudiera existir un reservorio caliente, cuya agua y vapor pudiera ascender a través de las fracturas generadas por el sistema de fallas de Boconó. Pudiera ser factible la presencia de uno o más reservorios intermedios, bastante sellados por las rocas impermeables circundantes. La ebullición de estos reservorios pueden producir la emanación de vapor, que alcancen la superficie, produciendo cerca de ella una zona dominada por vapor.

Las fuertes emanaciones y explosiones en época de lluvias, evidentemente se debe al fuerte calentamiento que sufre el agua meteórica superficial, que pueda alcanzar la zona muy caliente dominada por vapor ( $t > 100^{\circ}\text{C}$ ), y su posterior emisión quizás forzada por pequeñas fisuras a la superficie.

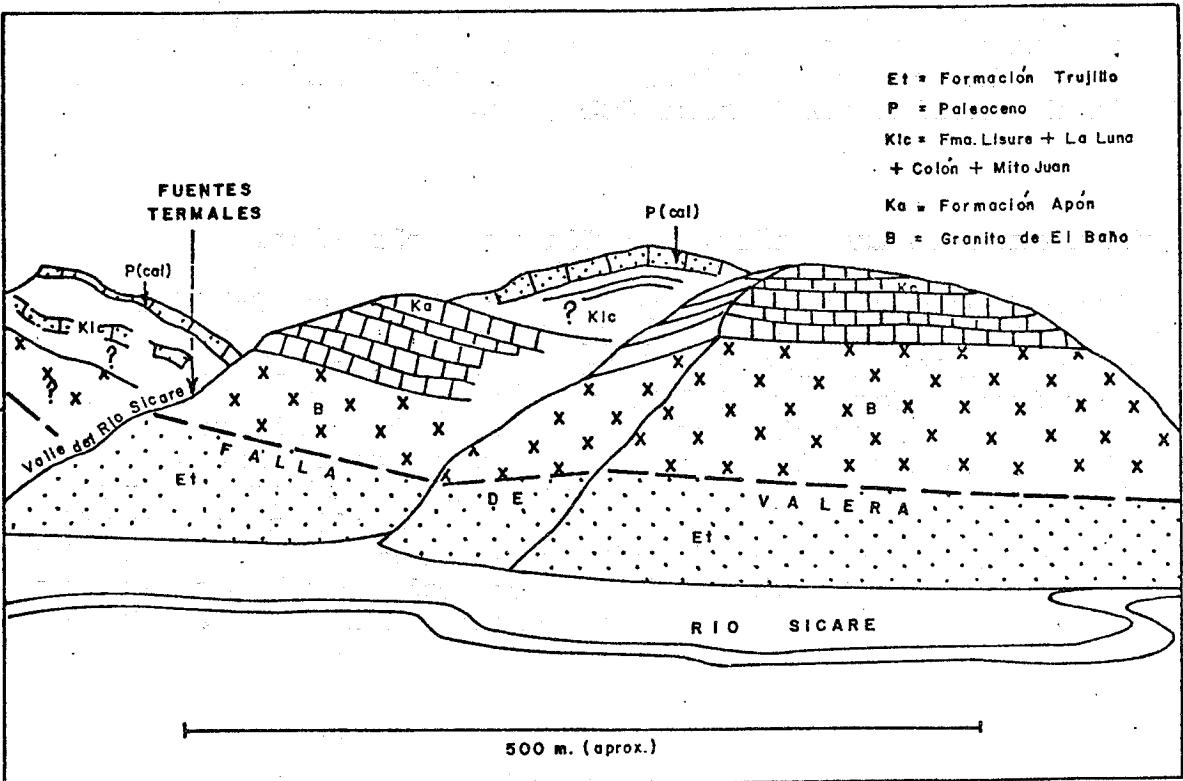
En resumen, creemos que el solo proceso de oxidación de la pirita, no puede ser suficiente para explicar la presencia de una fumarola con temperaturas de hasta  $115^{\circ}\text{C}$ , y con una actividad conocida desde hace 405 años.

#### Fuente termal de Los Baños, río Sicare, Palmarito.

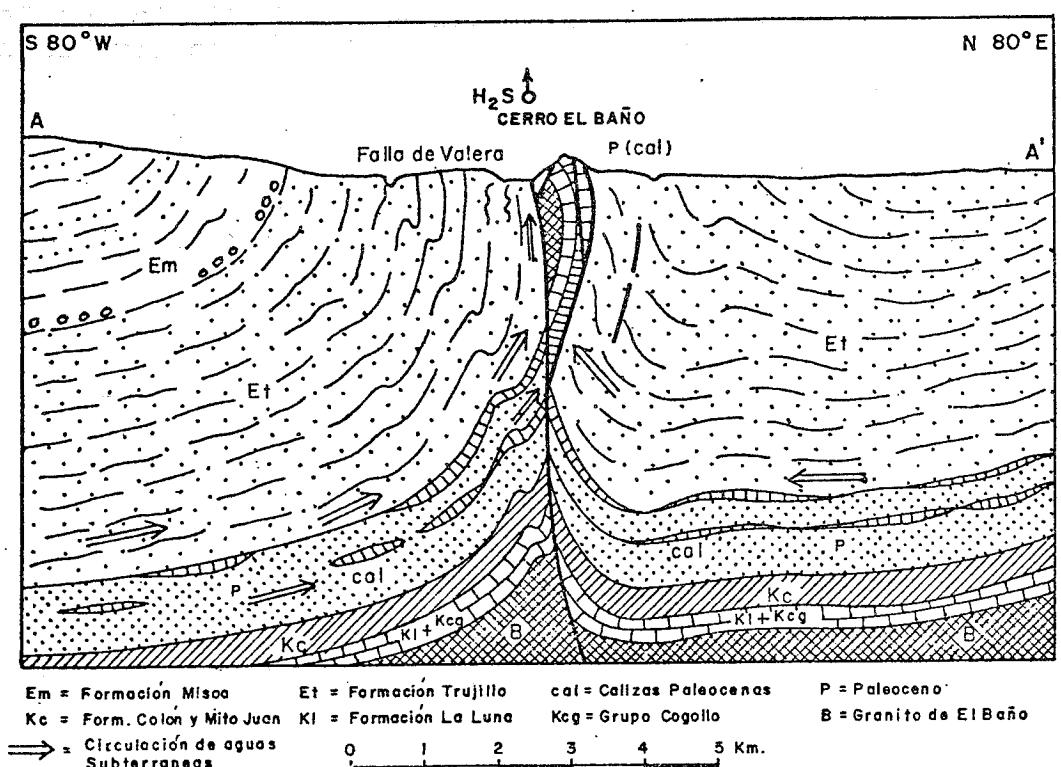
Esta fuente termal es muy caliente [ $t(c) = 60-70^{\circ}\text{C}$ ] y brota sobre la traza de la falla de Valera. De esta fuente solo se conoce un análisis físico-químico parcial, según el cual se puede estimar  $t(cz) = 102^{\circ}\text{C}$ . Pero por ser un solo análisis preferimos no asignarle mucho peso a esta determinación. La fig. 122 y 123 presentan cortes geológicos de la zona, notándose que debido a la falla de Valera hay un bloque de rocas más antiguas emplazado en la superficie, entre ellos el Granito de El Baño y rocas del Cretáceo. En ese corte geológico le hemos superpuesto un posible patrón de circulación de las aguas, donde pudieran calentarse en niveles más profundos de la falla de Valera.

#### Otras manifestaciones geotérmicas del estado Lara.

Sobre las otras manifestaciones geotérmicas del estado Lara citadas en la tabla II-97a, no se dispone de información como para adelantar interpretaciones. Las fuentes sulfurosas de Jordán se encuentran en la continuación norte de la falla de Valera, y quizás pueda tener un ciclo hidrológico similar al de Los Baños de Palmarito.



**CROQUIS DE LOS AFLORAMIENTOS AL SUR DE LA SECCION DE EL BAÑO**



**Fig. EL BAÑO: INTERPRETACION ESTRUCTURAL**  
**123 (Tomado de HABICHT, 1960)**

**4.11. ESTADO ZULIA. (II t97, f259b, 260).**

A lo largo de la Sierra de Perijá hay diversos manantiales sulfurosos frios o calientes, pero sobre ellos no se tiene información para permitir interpretaciones sobre los sistemas geotérmicos. Se nota que estan alineados a lo largo del piedemonte de Perija, ya sea controlados por la traza de la falla del Tigre o muy cerca de ella, o en el contacto entre las rocas del Cretáceo, fundamentalmente la Formación La Luna y las rocas del Terciario. Estos manantiales estan asociados a una linea de menes de petróleo y gas (WOLCOTT, 1954).

Al sur del estado Zulia cerca de Casigua, en los campos petroleros de Tarra y Los Manueles, se localiza una pequeña serranía con rumbo norte sur, controlada hacia el este por afloramientos de la Formación Mirador y una falla de corrimiento muy extensa que continua dentro de territorio Colombiano, en el Campo de Petrólea. Allí se localizan varias fuentes termales de muy alta temperatura (72°C segun OLCOTT, 1926) y algunos pozos petroleros tambien han producido agua caliente (96 °C segun OSTOS, 1938). En la misma área general DE BELLARD (1983) señala la existencia de una fumarola en el sitio conocido como el Infierno. Sobre estas manifestaciones termales no hay información para elaborar modelos interpretativos del sistema geotérmico; en la fig. 124 sólo se presenta un corte geológico, en el que se han sobre puesto posibles líneas de migración de aguas calientes de origen mas profundo.

En el este del estado Zulia cerca de los límites con los estados Lara y Trujillo, se encuentran dos fuentes termales, de cuyos análisis parciales se pueden estimar las siguientes temperaturas en el subsuelo:

<i>nombre</i>	<i>t(c)</i>	<i>t(cz)</i>
El Menito	35 C	119 C
El Puji	54	77

Sobre estos manantiales tampoco se establecen modelos interpretativos por falta de información.

4.12. ESTADO TRUJILLO. (IIIt98, 202, f247).

4.12. Fuente termal de El Baño, Motatán.

Esta es una fuente de alto caudal ( $> 200 \text{ l/min}$ ), en la cual los valores de temperaturas son como sigue:

$t(c)m$	73°C
$t(cz)$	91
$t(\text{Na-K-Ca-Mg})$	92 y 99

Así mismo se dispone de la temperatura de fondo de un pozo petrolero exploratorio, ubicado a 2 Km de El Baño donde a 3400 m de profundidad se midió una temperatura de 102°C. Toda esta información es coherente, de modo que la temperatura máxima estimada para un posible reservorio profundo caliente que alimenta a la fuente es:

$$t(cz) = t(alc) = t(pojo) = 90-102^\circ\text{C}.$$

No hay evidencia que permita sugerir la posibilidad de enfriamiento por mezcla. Para este caso no preparamos ningún modelo gráfico, ya que se puede visualizar un reservorio caliente profundo con una temperatura entre 90 y 100 °C, y posterior ascenso del agua a través de la zona fracturada que proveen las fallas del sector, y el brote es justamente en la intersección de la falla con el fondo del valle.

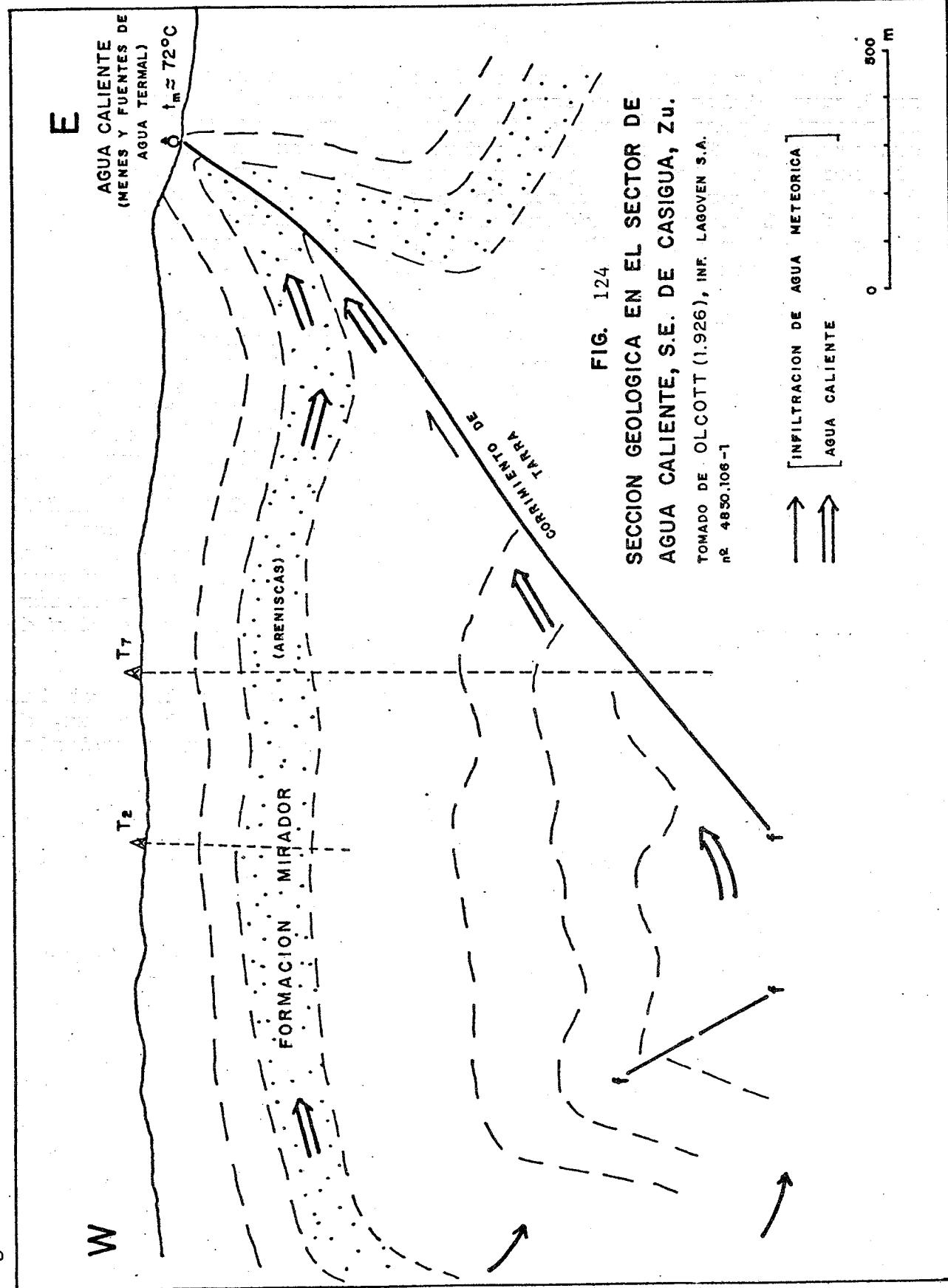
4.12.2. Fuentes termales de Agua Viva, Aguas Calientes y Valerita.

Estas fuentes son de alta temperatura (entre 70 y 85°C), de ellas no se tienen análisis químicos completos que permitan una evaluación con los geotermómetros químicos a excepción de  $t(cz)$ , que da un estimado de 107°C, para Agua Viva y 96°C para Aguas Calientes. Ambas fuentes están ubicadas muy cerca de la traza de la falla de Valera.

*Fuentes termales asociadas a la falla de Valera.*

A lo largo de la falla de Valera, brotan las siguientes fuentes termales:

Ubicacion	nombre	$t(c)m$	$t(cz)$
Norte	Jordán, La.	?	?
	Los Baños, Palmarito, La.	60-70	102
	Valerita, Tr.	66	?
	Aguas Calientes, Tr.	70	96
	Agua Viva, Tr.	85	107
Sur	El Baño, Motatan, Tr.	73	90-100



Las altas temperaturas determinadas, crean perspectivas en esta zona como de mucha importancia para continuar estudios mas detallados, e indican que estan en una falla activa, que permite el fácil ascenso de las aguas calientes profundas. Por la experiencia previa en otras partes del país, un valor consistentemente alto como el aportado por  $t_{alc}$  pudiera sugerir la existencia de reservorios mas profundos de mayor temperatura.

#### Fuentes termales de la cuenca de Monay.

En los alrededores de la cuenca de Monay se conoce la existencia de los siguientes manantiales sulfurosos:

Paramito, Monay (dos fuentes)	friás ?
Los Bañitos, qda. Agua Caliente, Chejende	caliente
Lambedero, Batatillo (3 fuentes)	friás ?
Los Baños, La Viciosa	60 C
Lambedero, San Antonio	fria ?
Río Jirajara	caliente

De estas fuentes no se dispone de otros datos, pero resulta muy interesante que se encuentren rodeando la cuenca sedimentaria joven de Monay, lo que hace que esta zona tenga buenas perspectivas, y sea merecedora de estudios mas detallados de sus manifestaciones termales y sulfurosas, ya que las rocas jóvenes pudieran cubrir y mantener sellado algún reservorio caliente quizás no muy profundo.

#### 4.13. ESTADO MERIDA. (IIIt100, 204, f248).

En el estado Mérida existen numerosas fuentes termales la mayoría de ellas están analizadas, sin embargo se confronta el problema de que en muchas de estas localidades hay varios brotes, pero generalmente solo uno está analizado. El carácter casi único de las características geológicas de cada localidad, su distancia entre sí, y la disponibilidad de un solo análisis de la fuente termal, sin análisis complementarios de fuentes frias o drenaje superficial, hace difícil una interpretación adecuada de los sistemas geotérmicos de la región.

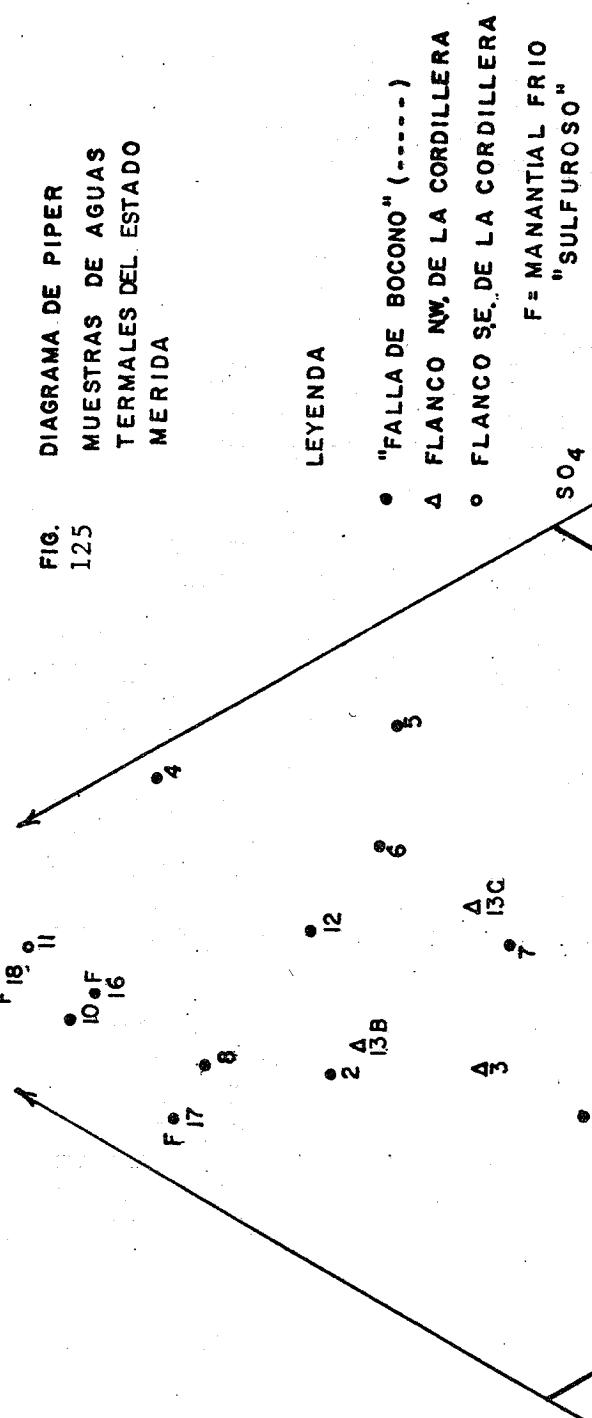
La mayoría de los análisis utilizados del estado Mérida, provienen de los estudios sistemáticos de BURGUERA et al. (1981, 1982, 1983a). En la evaluación de estos análisis a través del programa GEOTRV, se observa que muchos de ellos no presentan balance de cargas, de lo que se presume que el anión que está principalmente afectado por alguna inconsistencia sea el  $SO_4^{2-}$ , por consiguiente en la tabla IIIt100 el valor presentado de  $SO_4^{2-}$  es menor al publicado, a fin de forzar un balance de cargas.

Los tipos de aguas termales del estado Mérida, pueden deducirse del diagrama de Piper (fig. 125), así como en los diversos gráficos de las figuras 126 a 128, y especialmente de los histogramas y diagramas de D'AMORE presentados en las figs. IIIf248 y siguientes. Del análisis de este material gráfico, se nota que hay una completa gradación entre aguas sulfatadas a bicarbonatadas, ya sean cárnicas o sódicas.

La tabla 45 presenta un resumen de las estimaciones con los geotermómetros químicos; de estos valores y del análisis de las figs. 128, se observa que del total de 17 muestras, ocho presentan valores de  $t_{alc} < t_{cz}$ , en dos son iguales y en las siete restantes,  $t_{alc} > t_{cz}$ . En relación al grafico  $t_{alc}$  vs.  $t_{cz}$ , la mayoría de las fuentes presentan concordancia entre ambos estimados, mientras que en un grupo de siete,  $t_{alc} > t_{cz}$  lo cual pudiera indicar mecanismos de mezcla que no pueden ser evaluados por falta de información.

En referencia a los valores de  $t_{cz}$ , en todos los análisis  $t_{cz} > t_{alc}$  lo cual parece anómalo (fig. 128), y el contenido de  $SiO_2$  quizás no sea el correcto debido a algún problema analítico. Esto se hace patente al comparar 8 fuentes termales analizadas tanto por BURGUERA et al. (1983a) como por SEELKOPF (1955), promediando las concentraciones de  $SiO_2$  publicadas por cada uno, se obtiene un valor de 8 ppm con los datos de BURGUERA et al. y 48 ppm por SEELKOPF. Con estos resultados tan dispares, surge la necesidad de no pronunciarse por ninguna de las dos publicaciones, hasta que no se dispongan de nuevos análisis preferiblemente llevados a cabo por terceras personas o laboratorios. Esto situación anula la posibilidad de utilizar los valores aportados por los geotermómetros de las fases de  $SiO_2$ .

En referencia a los resultados del geotermómetro de Na-K-Ca-Mg, estos van desde las temperaturas correspondientes a los valores medidos en la fuente, hasta un máximo de 80°C, para la fuente termal de Piñango. Con base únicamente a esta linea de evidencia geotermométrica, se puede postular como mínimo un modelo geotérmico con una sencilla circulación del agua llegando a diferentes niveles de profundidad según cada caso, y ascenso a la superficie por las zonas de fallas (fig. 129).



283

TABLA 45  
Parámetros selectos, valores Geotermométricos preferenciales y Parámetros D'Amore para las manifestaciones geotérmicas del estado Mérida.

Siglas	Tc	Tcz	TNa-K-ca	T.S.D	A	B	C	D	E	F	Localidad
Me-1	46	25	60	616	-23	22	30	11	27	-1	Ejido
4	55	45	67	964	-89	46	38	32	53	-3	Tabay
5	45	23	62	741	-60	7	41	53	28	-36	Chama
6	52	25	74	799	-70	32	42	40	36	-11	Jají
9	40	54	71*	412	-33	12	40	37	7	-70	Oda. Sucia
Prom.	48	34	67	706	-55	24	38	35	28	-24	
D.Est.	6	14	6	207	27	16	5	15	22	-29	
2	47	45	30	272	-87	72	16	20	69	50	Mucuchies
3	52.3	39	80	134	-71	47	28	19	56	19	Piñango
Prom.	50	42	55	203	-79	59	22	20	62	34	
10	44.5	39	55*	757	-32	53	9	-16	56	48	Chiguará
11	49.2	--	49*	156	-79	82	5	-42	68	14	Caparo
Prom.	47	39	52	457	-56	67	7	-29	62	31	
12	40.1	33	66	960	-50	34	27	20	41	7	Los Giros
15	48	35	57	644	-18	23	28	8	28	5	Bocadillos
Prom.	44	34	62	802	-34	29	28	14	34	6	
13A	48	49	48*	321	-36	-20	58	62	-1	-73	Sta. Apolonia
13B	37	43	40*	275	-47	44	21	-1	48	17	
13C	37	15	38*	230	-69	33	39	28	38	-20	
7	44.5	41	65*	446	11	-21	18	35	11	-14	Caño Zancudo
8	49	--	71*	608	-8	30	-2	-6	48	48	Zea
14	34	24	65	566	-43	-40	64	94	-8	-93	Bailadores
Prom.Tt.	42	37	60								

Análisis: BURGUERA et al. (1983a).

284

FIG.  
126      DIAGRAMAS DE D'AMORE PARA LAS MANIFESTACIONES  
GEOTERMICAS DEL EDO. MERIDA

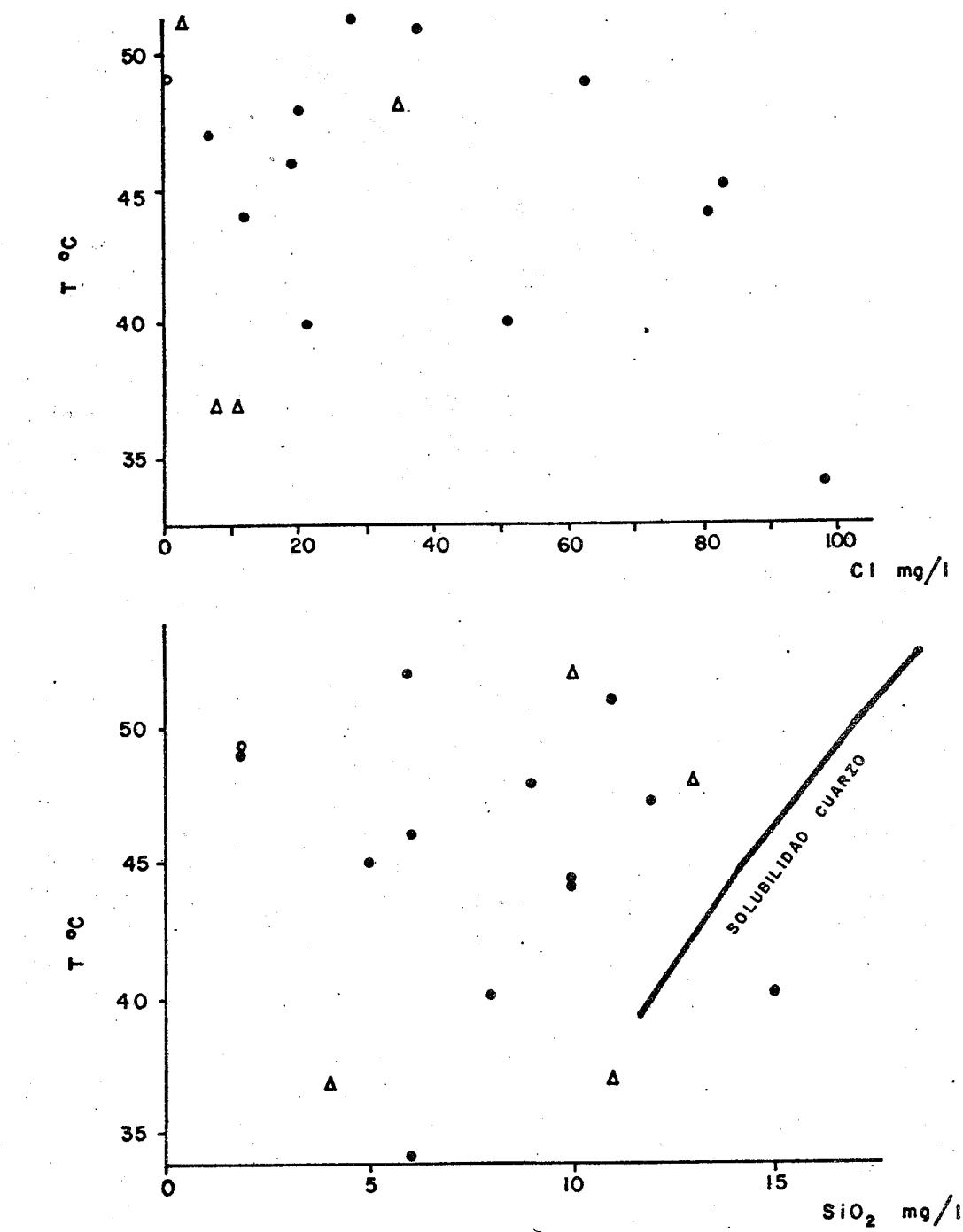
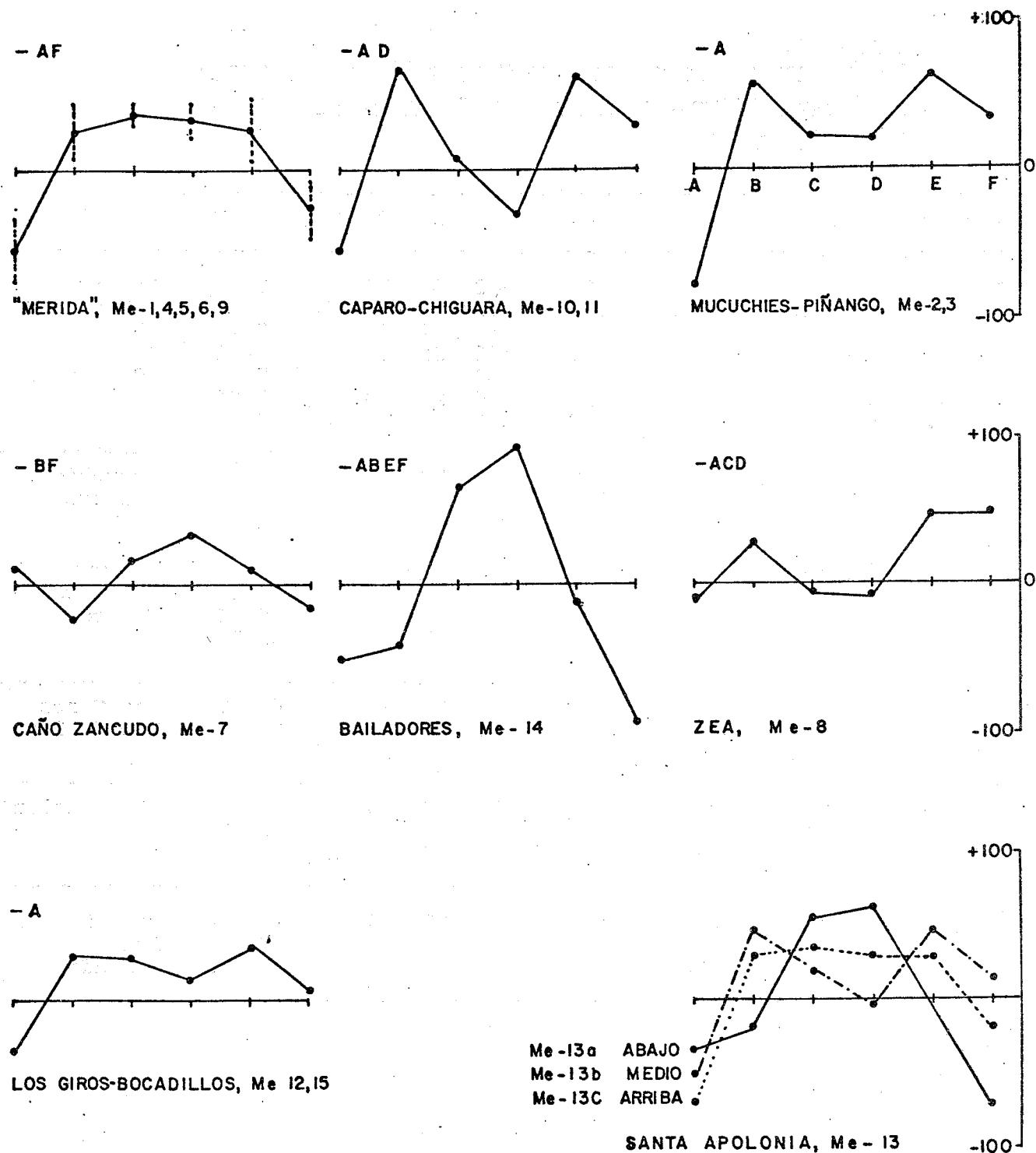


FIG.  
127      DIAGRAMAS T Vs Cl Y T Vs SiO<sub>2</sub> EN  
FUENTES TERMALES EDO. MERIDA

SIMBOLOS

- FUENTES ASOCIADAS A LA FALLA DE BOCONO
- △ FUENTES DEL FLANCO NW DE LA CORDILLERA
- FUENTES DEL FLANCO DE LA CORDILLERA

FIG. 128 GRAFICOS DE TEMPERATURA DE CAMPO Vs.  
TEMPERATURAS DE GEOTERMOMETROS, EDO MERIDA

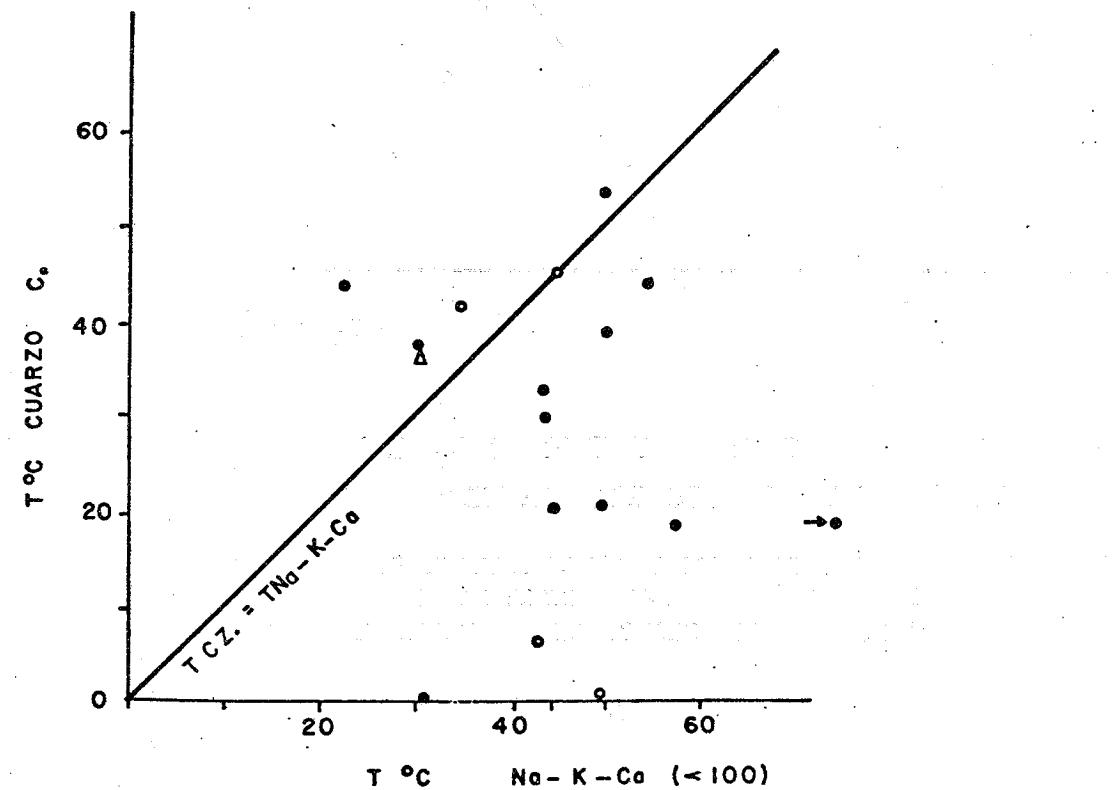
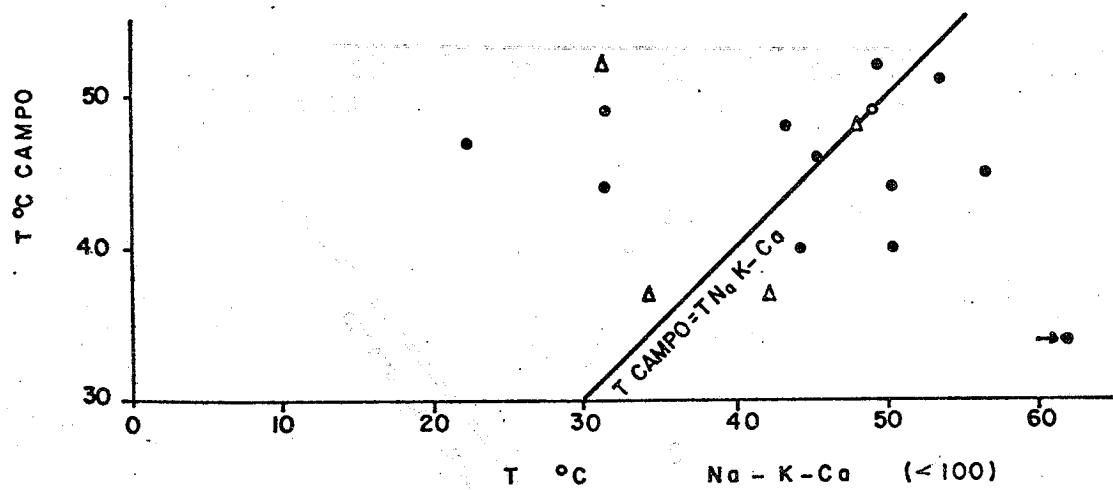
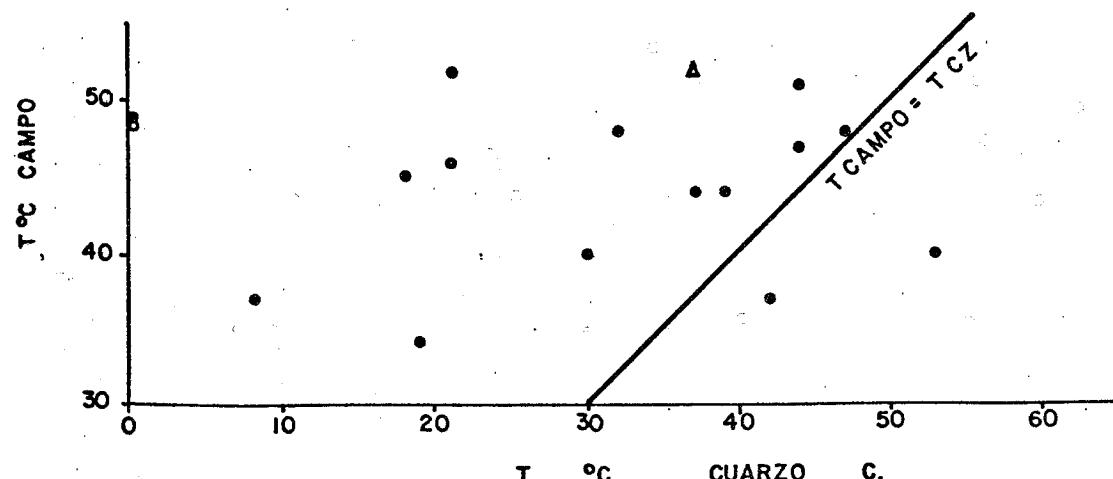


FIG. 129 MODELO HIDROLOGICO ESQUEMATICO DE LOS MANANTIALES ASOCIADOS AL SISTEMA DE FALLAS DE BOCONO, MERIDA.

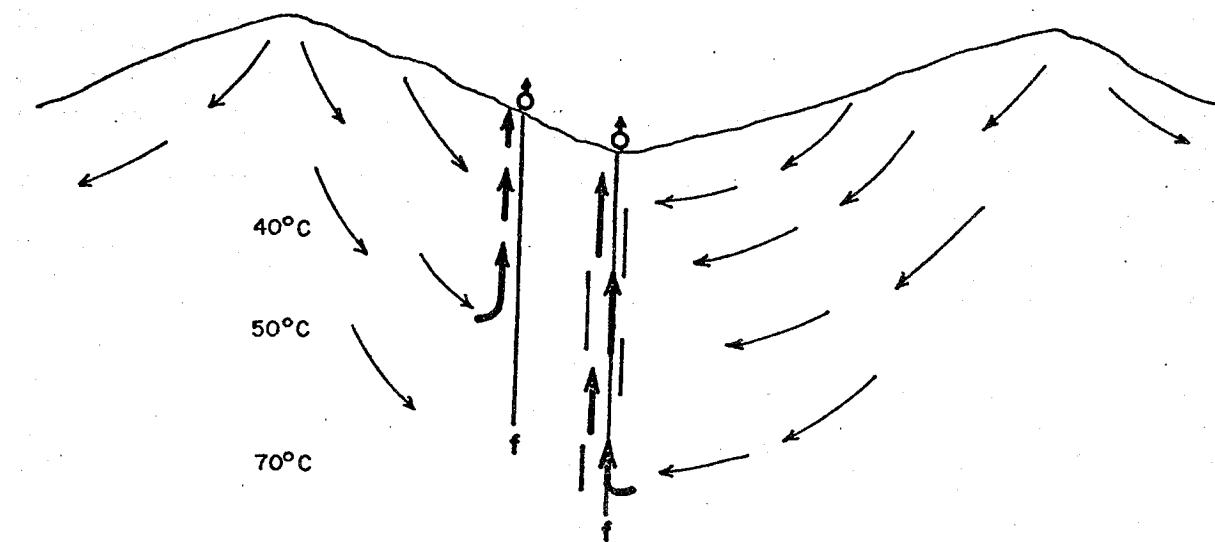
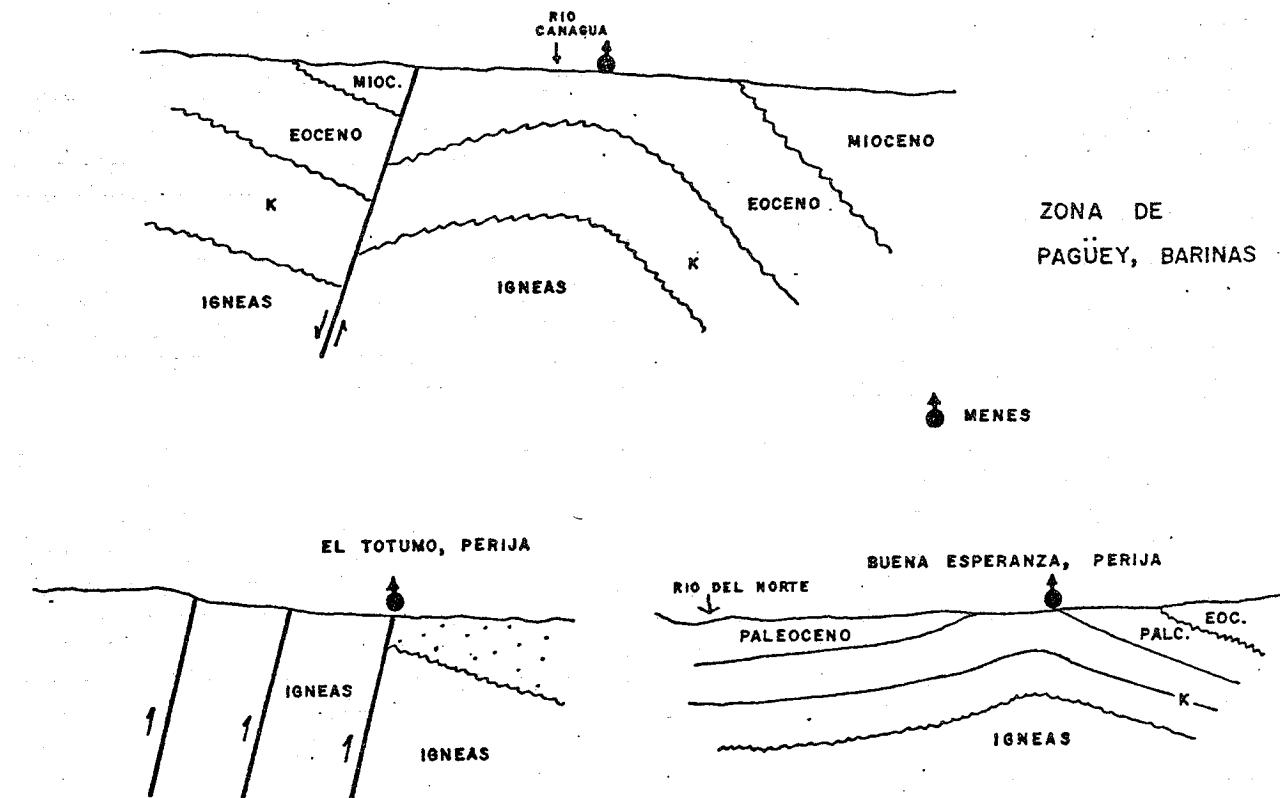


FIG. 130 SECCIONES GEOLOGICAS ESQUEMATICAS DE ZONAS CON MENES DE PETROLEO. (WOLCOTT, 1954)



#### 4.14. ESTADO TACHIRÁ. (IIIt102, 209. f253, 263).

##### Fuente termal de Aguas Calientes, Ureña.

A partir de la literatura se han compilado 22 análisis de esta fuente, pero en la evaluación que se presenta, se utilizarán únicamente los análisis de BRICENO-MAAS (1960), por ser el estudio encontrado más completo y sistemático de 9 manantiales. Los análisis presentados por otros autores consultados, cuando se pueden correlacionar sin lugar a dudas con los brotes estudiados por BRICENO-MAAS, se corresponden bastante bien en líneas generales, pero en la evaluación que se dará a continuación se estimó conveniente utilizar los análisis de un solo autor, evitando así el problema de posibles variaciones en la composición por cambios estacionales, o problemas de las diferencias analíticas inter-laboratorios.

La fig. 131 presenta un diagrama de ubicación de los manantiales de Ureña, donde con las letras A hasta la I se indican los brotes analizados de BRICENO-MAAS (1960), los cuales hemos podido clasificar en tres grandes grupos:

Grupo I	Pringues
Grupo II	Hediondas
Grupo III	Kerosenadas

Esta clasificación se basa en los siguientes criterios: (1) los brotes forman grupos separados varios centenares de metros entre sí. (2) Las temperaturas son uniformes dentro de cada grupo. (3) En el diagrama de Piper (fig. 132) se nota claramente esta discriminación. (4) En la representación gráfica hecha con los análisis de estas fuentes (figs. IIIf253-257), y consistente en 40 figuras como histogramas de aniones y cationes, diagramas de D'Amore y otros gráficos X-Y, se nota con toda claridad la discriminación entre los tres grupos señalados, siendo especialmente buenos para ello los diagramas de D'Amore. En conclusión la agrupación y diferencias físico-químicas entre los brotes de estos tres grupos (fig. 131), es estadísticamente significativa y como tal se tratará de explicar.

Con el análisis gráfico, se observa que el comportamiento de los tres grupos es diferente entre si, donde los grupos I y II presentan una correlación negativa altamente significativa de  $t(c)$  vs.  $\text{SiO}_2$ , TSD, Cl y una correlación negativa menor contra otros componentes. El grupo III es relativamente aislado, pero tiene mas afinidad con el grupo I. Antes de proseguir, es de hacer notar que  $t(c)$  vs.  $\text{SiO}_2$  en el grupo I (fig. IIIf263), indica la existencia de un fenómeno de mezcla de aguas en el subsuelo, por consiguiente los valores de  $t(cz)$  no son aplicables en este caso, pero el cálculo de  $t(wsmm)$  da una temperatura de  $78^\circ\text{C}$ .

La fig. 133 presenta el mismo gráfico  $t(c)$  vs.  $\text{SiO}_2$ , pero preparado en forma tal, que permite explicar la variación en la composición de todos los manantiales (puntos negros), mediante un proceso de mezclas sucesivas entre tres tipos de aguas distintas. Los tipos puros de agua son los siguientes:

(1) Agua de infiltración, fría y de muy bajo TSD (valores estimados).

(2) Componente caliente profundo,  $t=78^\circ\text{C}$ , bajo TSD y de tipo  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  (características calculadas y presentadas en la tabla 46).

(4) Agua subterránea fría, de alto TSD y de tipo  $\text{SO}_4\text{-Na}$ , con características físico-químicas semejantes al agua del pozo LAYNE-3, presentado por ALVARADO *et al.*, 1983.

A partir de estos tres tipos puros, por mezclas sucesivas en el subsuelo, indicadas esquemáticamente en las figuras 133 y 134, se forman los tipos intermedios (3), (5) y (6), que a su vez mezclándose con los tipos puros (2) y (4) permiten explicar la composición de todos los manantiales. La tabla 46 presenta los cálculos realizados para estimar la composición de todos los tipos de agua involucrados, así como la comparación entre parámetros estimados por el modelo y las determinaciones de diversos manantiales. Los resultados obtenidos son bastante satisfactorios, pero debe aclararse que el modelo hidrológico presentado en la fig. 134 no es el único que puede elaborarse, pero de los diversos que se han probado, este es el que ha resultado más sencillo, y más satisfactorio.

Con referencia a los valores estimados por geotermómetros químicos, debe concluirse que los valores de  $t(cz)$  no son aplicables en este caso por estar muy afectados por los problemas de mezcla. No siendo así para  $t(\text{Na-K-Ca})$ , pero aquí se presenta la dificultad de que casi ninguno de los análisis publicados tienen las determinaciones separadas de Na y K. En los análisis recientemente publicados por BURGUERA *et al.* (1983b) el valor de  $t(\text{alc})$  para los manantiales Kerosenados, da un valor de  $75^\circ\text{C}$ , lo cual concuerda bastante bien con el valor  $t(wsmm)$  de  $78^\circ\text{C}$ .

#### 4.15. ESTADO PORTUGUESA. (IIIt106, 213, f259).

Los manantiales de Santa Ana de los Baños de Guanare, son de tipo  $\text{HCO}_3\text{-Na}$ , y aportan las siguientes temperaturas:  $t(c)=34^\circ\text{C}$ ,  $t(cz)=78$ ,  $t(\text{Na-K-Ca-Mg})=196$  y  $t(wsmm)=140-190$ , lo cual indica que se trata de un sistema geotérmico de alta temperatura. Por ser una fuente aislada es difícil dar interpretaciones de mayor peso, pero la coincidencia en dos geotermómetros con temperaturas cercanas a  $190^\circ\text{C}$  hace evidente la necesidad de mayores estudios.

TABLA 46. Cálculos del modelo de mezclas múltiples para las fuentes termales de Ureña, Táchira.

I.- Predicción de las aguas (2) y (3)

X Y	Grupo I			Grupo II (*)				
	a	b	r	(2) **	a	b	r	(3) ***
t SiO <sub>2</sub>	56,5	-0,304	-0,90	32	339	-10,5	-0,95	10,4
Cl	12,4	-0,058	-0,95	7,8	160	-5,5	-0,84	-11
F	1,92	-0,032	-0,73	-0,5	1,8	-0,06	-0,68	0,09
SO <sub>4</sub>	204	-2,2	-0,88	32	2825	-85,2	-0,87	159
Na	88,5	-1,15	-0,66	-9	516	-18,8	-0,84	-72
Ca	40,6	+0,46	+0,69	76	908	-27	-0,79	74
TSD	519	-3,5	-0,89	246	6040	-190	-0,91	106

(\*) Incluye la composición del agua del pozo LAYNE-3.

(\*\*) Composición del agua tipo (2), como  $\hat{y}$  a  $t=78^{\circ}\text{C}$ .

(\*\*\*) Composición del agua tipo (3), como  $\hat{y}$  a  $t=31,3^{\circ}\text{C}$ .

II.- Composición de las aguas (1), (2), (3), (4), (5) y (6).

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
t ( $^{\circ}\text{C}$ )	23	78	31,3	23	29	28
SiO <sub>2</sub>	10	32	12,3	96	34	46
Cl		7,8	0	42	11	17
SO <sub>4</sub>		32	159	876	345	446
TSD		246	106	1800	546	784

(1)  $t$ =estimada. SiO<sub>2</sub>= según datos de pozos de ALVARADO et al. (1983).

(2)  $t$  y SiO<sub>2</sub> según  $t$  (wsmm). Otros valores según estimados de la tabla anterior.

(3)  $t$  y SiO<sub>2</sub> según diagrama  $t$  vs. SiO<sub>2</sub>. Otros componentes según tabla anterior.

(4) Valores del pozo LAYNE 3 de ALVARADO et al. (1983). SiO<sub>2</sub> estimado.

(5) y (6) A partir de la mezcla entre (3) y (4).

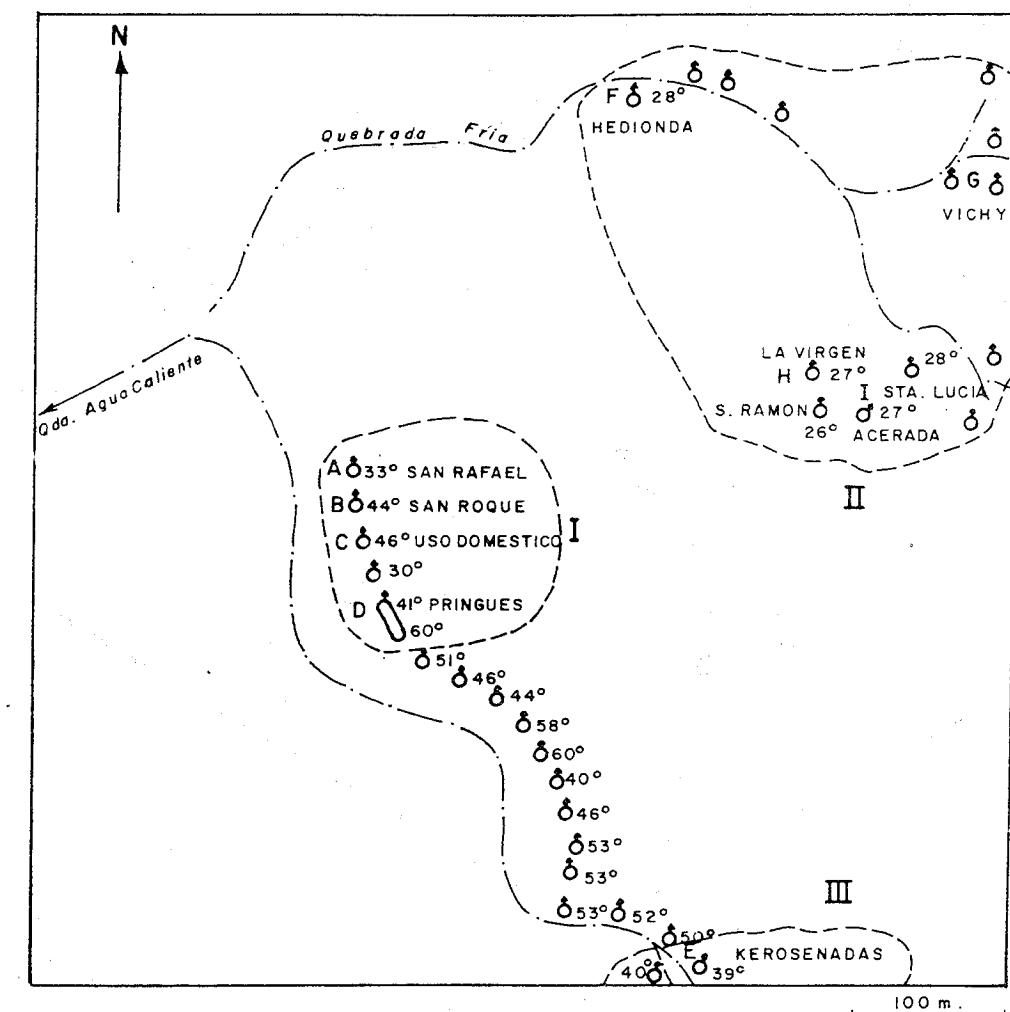
III.- PREDICCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS DE LOS MANANTIALES.

	Kerosenada e d	Pringue e d	Hedionda e d	Vichy e d	uso domest. e d	
t ( $^{\circ}\text{C}$ )	37,8	38	56	59	25	25
SiO <sub>2</sub>	34	35	38	39	76	78
Cl	10	8	11	9	31	17
TSD	492	208	483	302	1393	1500
%	18% de (2)	56% de (2)	24% de (3)	12% de (3)	21% de (2)	
mezcla	82% de (5)	44% de (6)	76% de (4)	88% de (4)	79% de (6)	

e = valor estimado según en modelo de mezcla.

d = valor determinado (análisis de BRICEÑO MAAZ, 1960).

FIG. 131 CROQUIS DE UBICACION DE LOS MANANTIALES DE AGUAS CALIENTES, UREÑA - ESTADO TACHIRA; Ta. 1  
(Tomado de OTERO et al. 1939: 121)



CARACTERISTICAS

Nombre	Grupo	Tipo de agua:	T.S.D. (prom.)
"Pringues"	I	HCO <sub>3</sub> >> SO <sub>4</sub> >> Cl <sup>-</sup>	Ca > Na+K > Mg 376
"Hedionda"	II	SO <sub>4</sub> >> HCO <sub>3</sub> >> Cl <sup>-</sup>	Ca > Mg>> Na+K 1173
"Kerosenadas"	III	HCO <sub>3</sub> >> SO <sub>4</sub> > Cl <sup>-</sup>	Na+K > Ca > Mg 208

Fig. 132 DIAGRAMA DE PIPER

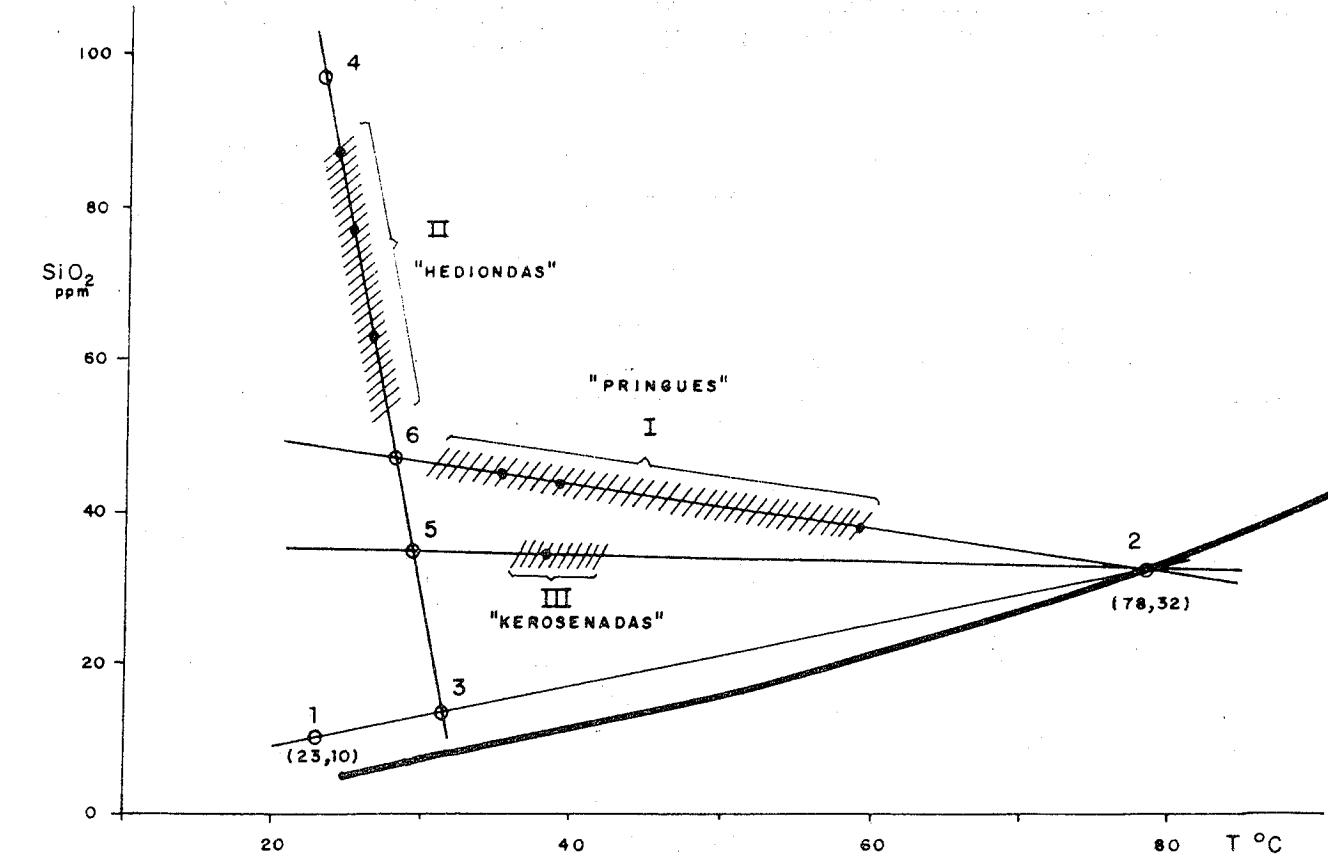
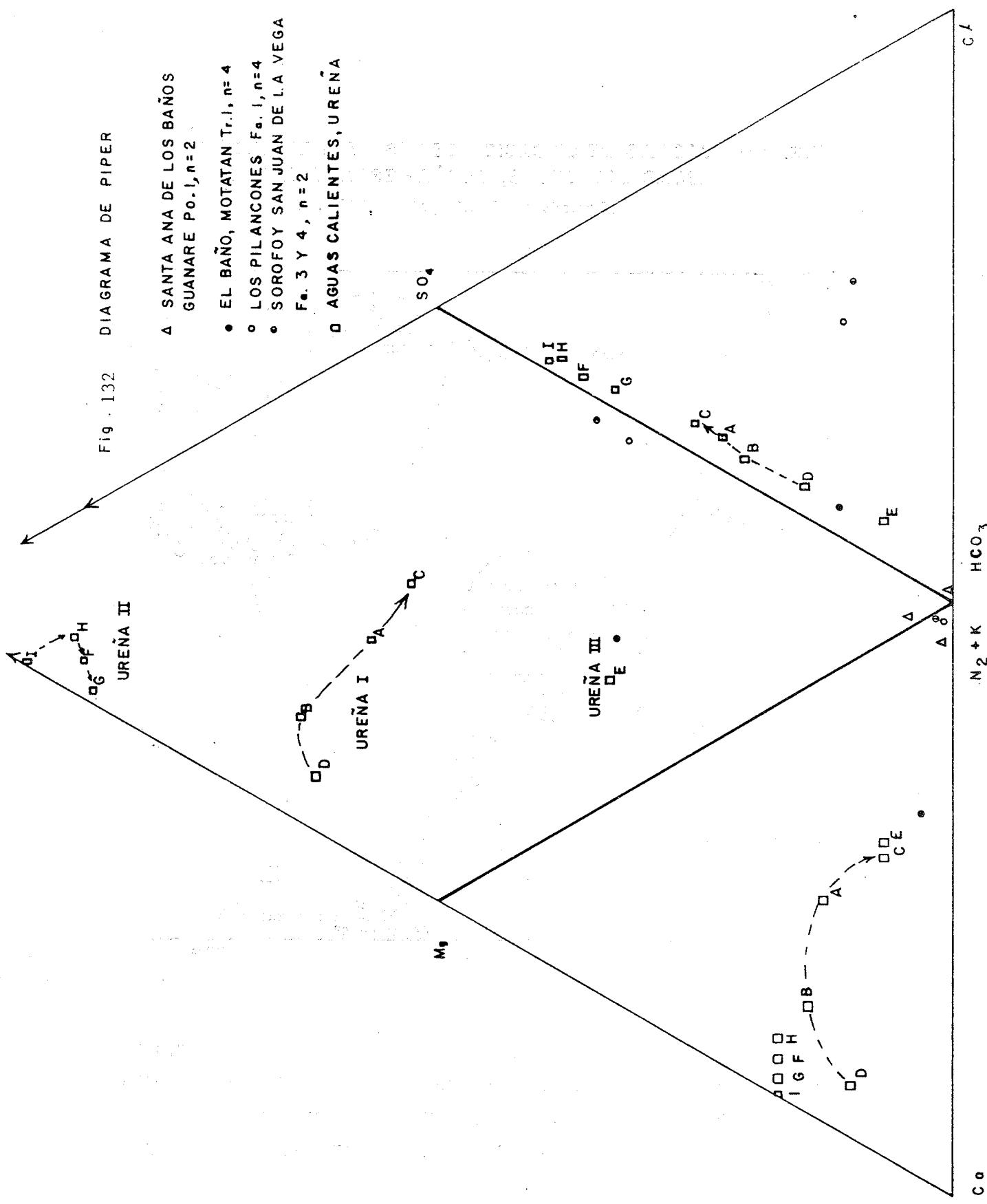
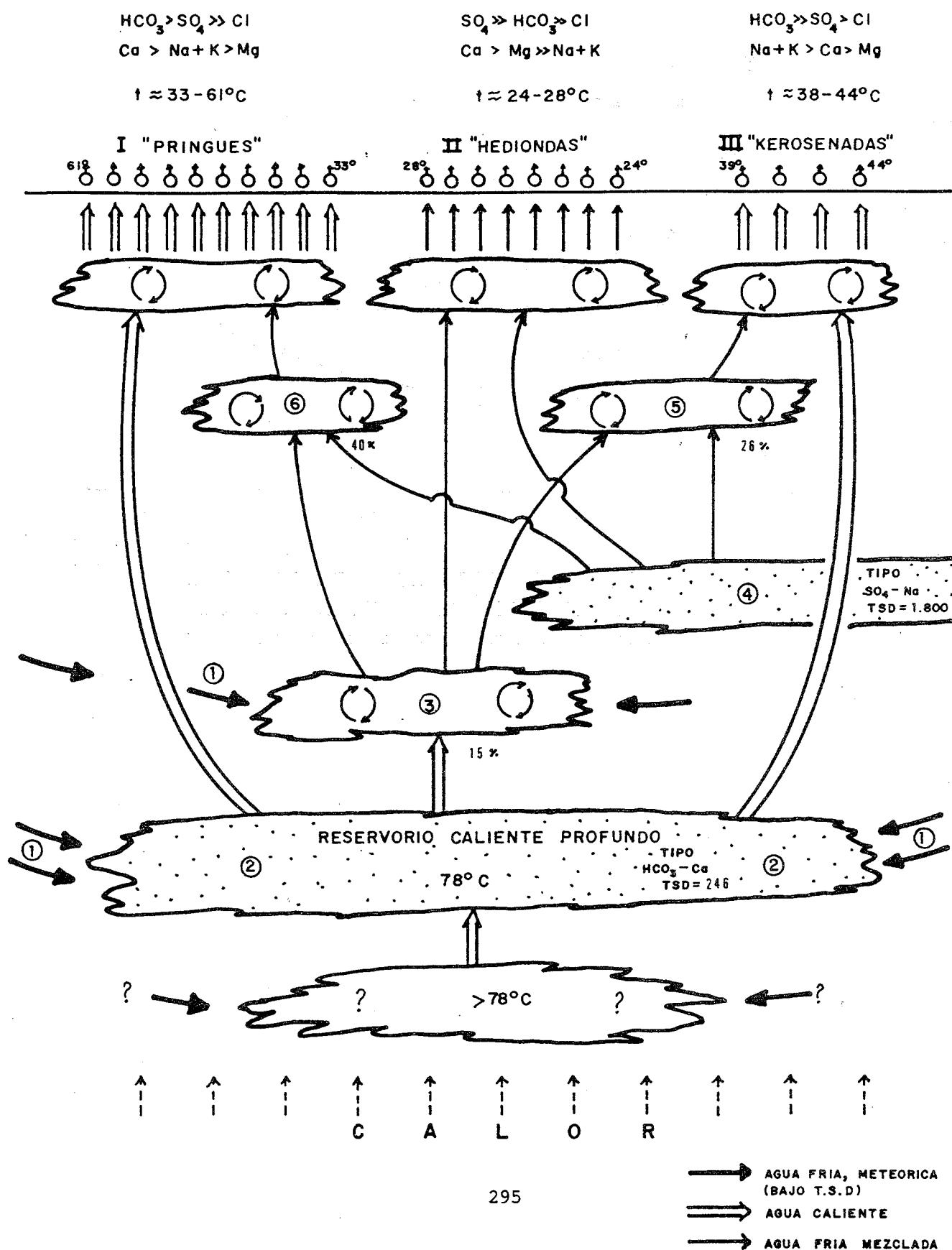


FIG. 134 MODELO HIDROLOGICO ESQUEMATICO DE LAS FUENTES TERMALES DE AGUAS CALIENTES, UREÑA, TACHIRA.

#### 4.16. TOPICOS DIVERSOS



#### **4.16.1. EMANACIONES DE HIDROCARBUROS.**

En los mapas anexos que contienen la distribución de manifestaciones geotérmicas de Venezuela (tomo III), se han ubicado tambien las emanaciones de hidrocarburos (menes de petróleo, gas y arenas impregnadas con petróleo). Estas emanaciones no tienen una relación genética con las fuentes termales, pero donde hay emanaciones de hidrocarburos, en general se cumplen con ciertas características tectónicas y estratigráficas, que son propicias para la emanación de fluidos en general. Es por esta razón que tanto en la región norte de Monagas, y en los piedemontes de la Sierra de Perijá y de la Cordillera Andina, los menes de petroleo generalmente estan asociados a manantiales sulfurosos y aguas termales. Por esta razón, las áreas de menes de petróleo de la región occidental son los lugares mas propicios para la busqueda de manifestaciones geotérmicas, cuando se continue el proyecto *Inventario Geotérmico de Venezuela*.

La ubicación de menes de petróleo de toda Venezuela, ha sido estudiada por SPANGLER (1954) en el oriente de Venezuela y por WOLCOTT (1954) en occidente. Este último autor señala cuatro configuraciones geológicas apropiadas para la emanación de hidrocarburos:

(1) A través de capas en una estructura monoclinal, cuyas rocas permeables están expuestas en superficie. Estos menes no son muy prolíficos.

(2) En rocas en donde el petroleo se ha formado, y el fracturamiento permite su salida. Estos son muy pobres.

(3) Por fallas a partir de depósitos importantes de hidrocarburos en el subsuelo.

(4) Controlados por discordancias.

Los menes de las dos últimas categorías parecen ser los más numerosos y con mayor volumen de hidrocarburos involucrados. La figura 130 presenta tres cortes geológicos esquemáticos de las zonas de menes de Pagüey en Barinas, y de El Totumo y Buena Esperanza en Perijá.

#### 4.16.2. pH Y CONDUCTIVIDAD DE LAS AGUAS DE FUENTES TERMALES.

El pH de una solución viene definido como  $pH = -\log [H^+]$ , y en las aguas naturales esta controlado fundamentalmente por las reacciones que involucran el sistema de los carbonatos, incluyendo el CO<sub>2</sub> y los iones CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, pero en aguas termales el H<sub>2</sub>S puede afectar radicalmente el pH. Debido a la facilidad con que algunos componentes del sistema de los carbonatos, puede variar con el tiempo, por cambios de temperatura y problemas del transporte de las muestras, el pH siempre debe medirse en el campo, e igualmente siempre se debería medir la alcalinidad. Solo de esta manera se pueden evaluar con propiedad los análisis producidos por el laboratorio.

Una comparación entre las determinaciones de campo y posteriores de laboratorio, indican que en la mayoría de las veces el pH se incrementa, esta relación es la que se puede esperar si consideramos que hay perdida de CO<sub>2</sub> por efectos del tiempo y transporte.

Las figuras 135 y 136 presentan histogramas de las determinación de pH en el campo (o de laboratorio en su defecto), para las fuentes termales de toda Venezuela. El resultado muestra una curva de distribución normal, con un modo alrededor de pH 7, con un 7 % de las muestras con pH menores o mayores de 6 y 8 respectivamente. El grupo con pH menores de 4, corresponden a las fuentes termales sulfatadas ácidas de la zona de Las Minas - Mundo Nuevo, estado Sucre, y de por sí forman una agrupación con distribución normal y un modo con pH 2,6. La explicación de estos valores de pH tan bajos ya se ha indicado en la sección 4.1.3.

La conductividad del agua es una medida de su capacidad de trasportar corriente eléctrica bajo ciertas condiciones específicas, por consiguiente es una medida de las sales ionizadas, dando una indicación de la concentración del total de sólidos disueltos en el agua. La unidad de medida de la conductividad es microhm/cm estandarizado a 25 °C, por consiguiente es una propiedad física del agua. La relación entre conductividad y TSD es lineal hasta 5000 microhm/cm, por encima de la cual se hace curva.

Con las fuentes termales de Venezuela y las fuentes frias asociadas, se llevó a cabo un análisis por regresión lineal, utilizando para ello los 376 análisis donde se dispone de la conductividad y el TSD. La ecuación resultante es la siguiente:

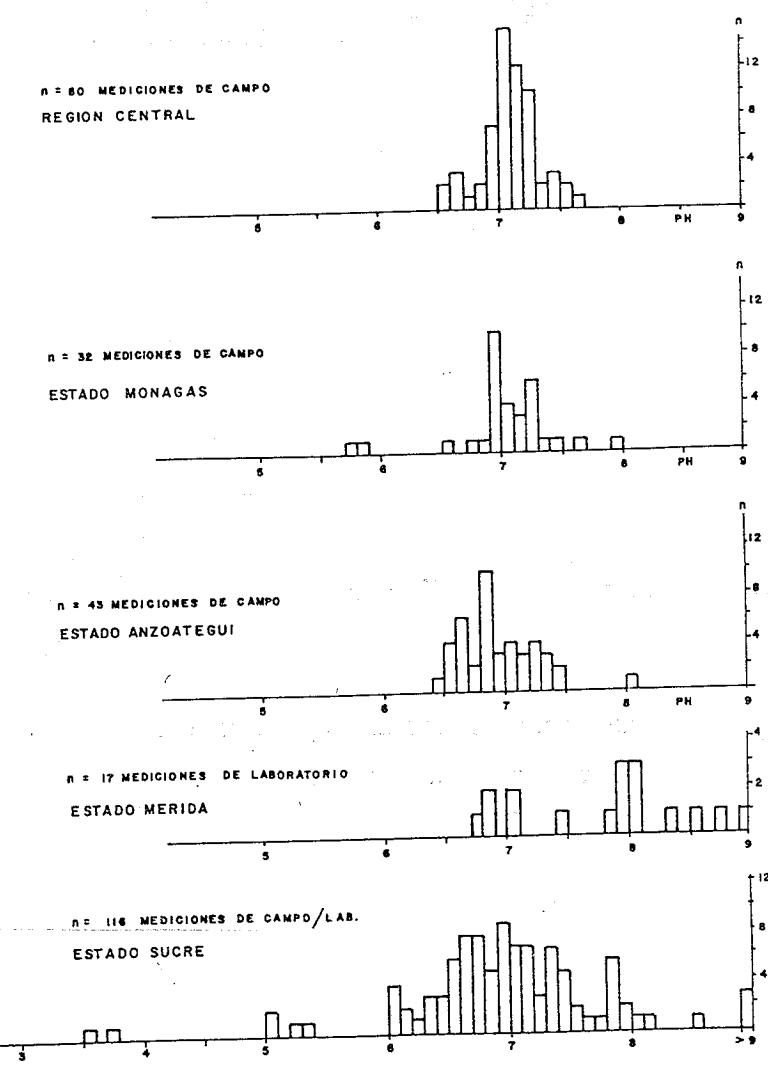
$$\text{Cond.} = 148,3 + 1,652 \times \text{TSD} \quad r = 0,903$$

Esta ecuación puede servir para verificar la calidad de los análisis, desconfiando de aquellos cuyo TSD determinado sea muy

diferente al estimado por esta ecuación (fig. 137), o de una forma más fácil, cuando la relación TSD/cond. departa significativamente (mas de un 20%) de la relación que se puede predecir con la ecuación, y que se da a continuación:

TSD.	Cond.	TSD/cond.
0.	148.	.0
50.	230.	.22
100.	314.	.32
200.	479.	.42
300.	644.	.47
400.	809.	.49
500.	975.	.51
1000.	1800.	.56
1500.	2627.	.57
2000.	3453.	.58
2500.	4279.	.58
3000.	5106.	.59
4000.	6758.	.59
5000.	8410.	.59

FIG. 135 HISTOGRAMAS DEL pH EN MANIFESTACIONES GEOTÉRMICAS



#### 4.16.3. DEPOSITOS MINERALES.

A continuación se presenta un resumen de todas las especies minerales identificadas, en depósitos tanto antiguos como recientes asociados a las fuentes termales del país.

Fig. 137. Gráfico Conductividad vs. Total de Sólidos Disueltos, derivado por regresión lineal, utilizando un total de 376 muestras de aguas termales Venezolanas y aguas frias asociadas.

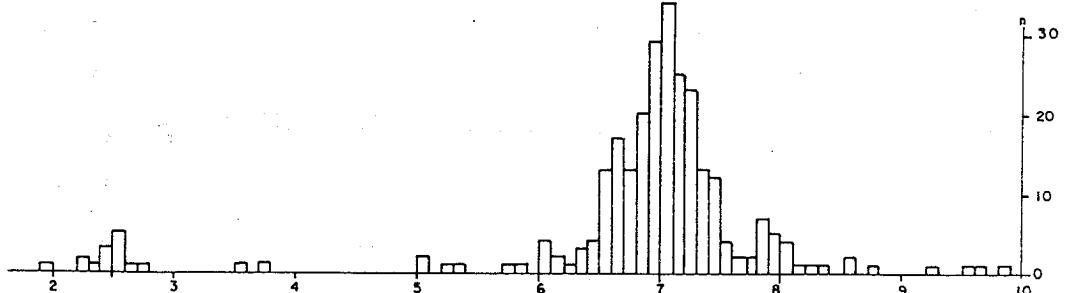
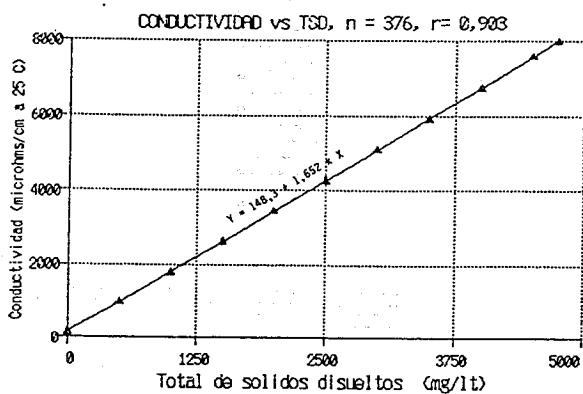


FIG. 136 HISTOGRAMA DE 270 MEDICIONES DE pH DE FUENTES DE AGUAS TERMALES DE TODA VENEZUELA

Mineral	Localidad	Condiciones
<b>Carbonatos:</b>		
Calcita	muy común	t=21-97 C R V
Aragonito	Aguas Calientes, Su.	? - V
Trona	San Juan de Vega, Fa.	t=30=39 R -
<b>Sulfatos:</b>		
Yeso	Las Minas-Aguas Calientes, Río Casanay	t=80-90 - V
Anhidrita	?	- V
Thenardita	Guadalupe, Fa.	t=30 R -
Alunita	San Juan de Vega, Fa	t=30-39 R -
Epsomita	Aguas Calientes (Su13)	t=80-90 R -
<b>Sulfuros:</b>		
Cinabrio	Por sublimación Las Minas, Su. (1901)	t=90-100 R -
<b>Elem. nativos:</b>		
Azufre	Por sublimación: Las Minas-Río Casanay	t=90-100 R V
En medio acuoso: muy extendido		
		t=23-60 R -
<b>Silicatos:</b>		
Cuarzo alfa (calcedonia)	Las Minas-Río Casanay	? - V
Opalo	" " " "	? - V
Estilbita	El Guamo, Mo y Juan Díaz, Mi.	? - V
Thompsonita	Tácata, Mijaos, Mi.	? - V
<b>Oxidos:</b>		
Oxi-hidroxidos Raro y conjuntamente de hierro con calcita		t=23-55 R -
<b>Cloruros:</b>		
Halita	Caruao, DF	t=25-40 R -

R = mineral que se forma en la actualidad.

V = mineral identificado en depósitos minerales antiguos.

En relación al posible origen de cada uno de estos minerales, ya se ha tratado en referencia a cada localidad individualmente.

#### 4.16.4. COMPOSICION QUIMICA DE GASES Y COMPOSICION ISOTOPICA DE AGUAS.

##### Análisis de gases.

Hasta la fecha solo se tiene información de un total de 12 análisis de gases de fuentes termales Venezolanas (tabla IIIt290), y solo de la región oriental. Las muestras fueron recogidas en fuentes de temperatura relativamente baja, donde se podía sostener con la mano la botella invertida dentro del agua. Por consiguiente no se han podido tomar muestras en las fuentes mas calientes y de mayor interés geotérmico.

Con los análisis disponibles, en primera instancia se llevó a cabo un análisis estadístico multivariable (análisis de agrupaciones), resultando que las muestras de los tres estados Sucre, Monagas y Anzoátegui, coincidentemente forman grupos perfectamente definidos y discriminados. La tabla 47 presenta los dendrogramas (modo Q y modo R), y al lado esta la composición química de las muestras a fin de visualizar las diferencias entre cada grupo, lo cual también se resume a continuación:

n	Estado	Componentes mayoritarios en orden decreciente
7	Sucre	CO <sub>2</sub> (81%), N <sub>2</sub> (11%), CH <sub>4</sub> ( 5%)
2	Anzoátegui	N <sub>2</sub> (62%), CH <sub>4</sub> (16%), O <sub>2</sub> (12%)
3	Monagas	CH <sub>4</sub> (53%), CO <sub>2</sub> ( 9%), N <sub>2</sub> ( 4%)

Los valores altos de CH<sub>4</sub> en la zona norte de Monagas, tiene relación con las emanaciones de hidrocarburos asociadas con las fuentes termales y sulfurosas, concordando con el hecho observado de que los gases emitidos en esa región son inflamables. Las figuras 80 y 82 también explican estas emanaciones de gas, que son canalizadas a través de la discordancia entre las rocas del Cretáceo y las del Terciario.

Para los valores altos de N<sub>2</sub> en los gases del estado Anzoátegui, no se ha encontrado ninguna explicación adecuada.

La alta concentración de CO<sub>2</sub> en los gases del estado Sucre, se considera que se debe a fenómenos profundos de alta temperatura, donde se produce una degasificación de las rocas carbonáticas. Sobre esto se tratara en el siguiente capítulo.

El dendrograma de las variables químicas (tabla 47) nos indica una clasificación de ellas en tres grupos: I) Gases mas abundantes en la atmósfera: O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y Ar, por consiguiente estan altamente correlacionados entre si. II) Hidrocarburos como CH<sub>4</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>. III) Un grupo con muy poca correlación con los demás, como son el H<sub>2</sub> y He.

##### Análisis de isótopos en aguas y en CO<sub>2</sub> disuelto.

Al igual que en el caso anterior hay muy pocos análisis de este tipo (tabla IIIt290), y estan restringidos a la zona oriental. La tabla 47 presenta los dendrogramas donde se incluyen tanto los análisis de gases, como los isotópicos de aguas (deuterio y oxígeno 18), observando que en estos isótopos no hay discriminación entre los tres grupos ya señalados; por consiguiente los datos isotópicos son poco diagnósticos para la agrupación regional de las muestras. Estos resultados y otros publicados por WJEC (1982a) se representan en el gráfico 2H vs. 18 O (fig. 138), notándose que:

(1) Seis muestras (An.11 y 26, Mo.26 y Su.26, 39 y 85) se encuentran sobre la linea que corresponde a las aguas meteóricas. Esto indica que la mayor proporción de estas aguas es meteórica, con poco aporte de los posibles componentes calientes profundos. La muestra Su. 39 corresponde a Puerto Chacaracual y Su.85 a Punta Cotua, por consiguiente estos resultados, podrían soportar los modelos de mezcla de fuentes tibias que allí se establecieron. Las muestras de Anzoátegui y Monagas corresponden a sistemas de bajas temperaturas, donde el componente meteórico es evidente.

(2) Las muestras Mo.14 y Mo.18, corresponden al sistema geotérmico de la discordancia Cretáceo-Terciario, del norte de Monagas, que es el sistema donde se interpretará la temperatura mas alta del estado Monagas [t(r) = 150-180°C], por consiguiente estas dos muestras deben contener una mayor proporción del componente caliente profundo, que por las altas temperaturas tienden a enriquecerse en 18 O.

(3) El resto de las muestras que caen a ambos lados de la linea (Su.50, 58, 60, y BE, CH, AC, RJ), corresponden a los sistemas de muy altas temperaturas de Las Minas - Aguas Calientes - Mundo Nuevo. Su carácter anómalo se debe a los complejos procesos de intercambio agua-roca en altas temperaturas y al enfriamiento combinado por fenómenos de ebullición, conducción y mezcla.

De la zona central del estado Sucre existen otros datos de isotópicos estables: (1) seis análisis de δ 13 C en el CO<sub>2</sub> disuelto de las mismas aguas analizadas para deuterio y 18 O (BARNES y URBANI, 1982); (2) tres análisis de δ 34 S y δ 18 O en el ión sulfato, en las aguas de Aguas Calientes, Chirriaderos y Río de Janeiro (WJEC, 1982b). Estos resultados no pueden

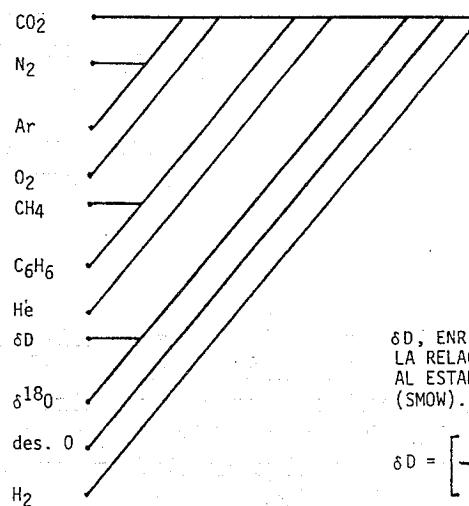
utilizarse desde un punto de vista interpretativo por lo escaso de los mismos.

En el mismo trabajo de WJEC (1982b) se presentan 5 análisis de tritio, correspondiente a las aguas de El Salvaje, Buena Esperanza, Aguas Calientes, Chirriaderos, Río de Janeiro y el agua fría no afectada por las fuentes termales de la quebrada Buena Esperanza. De la comparación entre el agua meteórica y las aguas termales, concluyen que en El Salvaje el agua es meteórica calentada por vapor, y lo mismo para Buena Esperanza, pero ahí la proporción de vapor condensado es mayor. El agua de Los Chirriaderos también estaría compuesta principalmente por el componente de agua meteórica. Esta información es coherente con las interpretaciones previas indicadas para el sistema geotérmico de Las Minas-Aguas Calientes.

TABLA 47  
CENDROGRAMA DE LAS MUESTRAS

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Ar	$\delta D$	$\delta^{18}\text{O}$
Mo.14	7,4	52,3	0,4	0,2	0,4	-26,9	-3,8
Mo.26	7,5	35,5	7,1	0,1	0,5	-19,5	-3,7
Mo.18	12,9	70,2	5,9	1,5	0,2	-23,4	-3,4
prom.	9,3	52,7	3,8	0,6	0,4	-23,3	-3,6
An.26a	15,9	17,8	57,6	7,6	0,7	-22,7	-4,2
An.11	2,2	13,7	66,7	16,3	0,8	-21,7	-4,0
prom.	9,1	15,8	62,1	12,0	0,8	-22,2	-4,1
Su.60b	86,5	4,3	8,5	0,2	0,1	-11,9	-2,0
Su.60a	82,7	5,2	10,0	1,6	0,2	-18,5	-3,9
Su.50c	71,7	2,3	20,9	4,3	0,3	-12,3	-3,0
Su.39	91,5	0,0	6,0	1,7	0,1	-19,1	-3,6
Su.85	78,3	5,3	13,3	2,7	0,2	-21,9	-4,0
Su.58	86,4	2,6	9,1	1,9	0,1	-19,6	-4,0
Su.26	66,7	18,4	10,3	3,9	0,2	-23,1	-4,2
prom.	80,5	5,4	11,2	2,3	0,2	-18,1	-3,6

DENDROGRAMA DE LAS VARIABLES



δD, ENRIQUECIMIENTO POR MIL DE LA RELACION ISOTOPICA D/H RELATIVA AL ESTANDAR DE AGUA OCEANICA MEDIA (SMOW).

$$\delta D = \left[ \frac{(D/H)_{\text{muestra}}}{(D/H)_{\text{SMOW}}} - 1 \right] 1000.$$

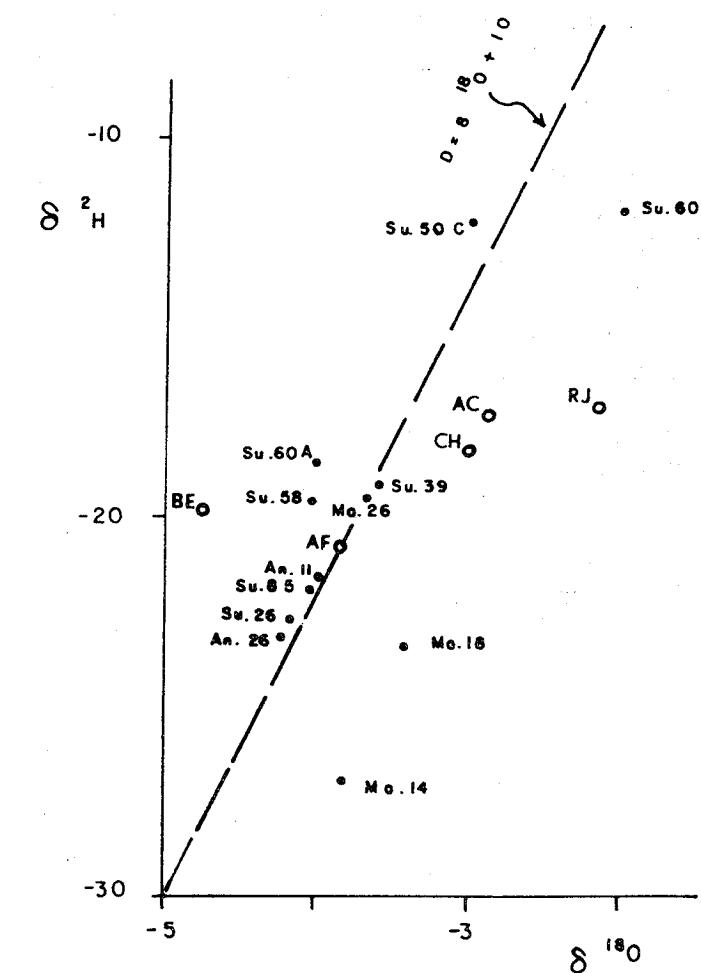


FIG. δ<sup>18</sup>O VS. δ<sup>2</sup>H PARA AGUAS DE FUENTES TERMALES DE LA REGION ORIENTAL.  
138

LÍNEA SEGMENTADA : RELACION PARA AGUAS METEORICAS DE CRAIG (1963)

- Muestras de BARNES y URBANI (1982).
- Muestras de W.J.E.C. (1982a). AF agua fría de la qda. Buena Esperanza.
- BE Buena Esperanza, CH Chirriaderos, AC Aguas Calientes, RJ Río de Janeiro.

**4.16.5. COMPOSICION QUIMICA DE SEDIMENTOS DE LAS FUENTES TERMALES.**

Como parte del estudio de las fuentes termales, en ellas se recogió el sedimento localizado en el fondo del punto de emanación. El sedimento en sí puede tener varios orígenes, en algunos casos son pequeñas partículas acarreadas desde el subsuelo por el agua al brotar, y otras veces es material de los alrededores, pero siempre bajo el efecto de las aguas termales. Los sedimentos analizados en la región oriental, forman parte de tres grupos:

(1) Sedimentos de la red de drenaje de la zona de Casanay - El Pilar, recogidos en 1976 por tesis de la U.C.V., durante la ejecución de los trabajos de cartografía geológica en el área.

2) Sedimentos de fuentes termales, de la misma zona y recogidas durante el mismo trabajo ya citado.

(3) Sedimentos de fuentes termales, recogidos durante el proyecto *Inventario Geotérmico Nacional* en 1981. Las muestras de los dos primeros grupos fueron estudiadas por KANCEV (1976), mientras que las del tercer grupo fueron analizadas en la Dirección de Investigaciones Geoanalíticas, M.E.M. En ambos casos las muestras fueron analizadas por fluorescencia de rayos X, en la fracción de -100 mallas.

KANCEV (1976) encuentra que la mayoría de las muestras de sedimentos del drenaje, corresponden bien con la litología de las formaciones aflorantes. Mientras que en las muestras de las aguas termales (tabla II-294), hay algunas anómalas en plomo que corresponden a las localidades de la quebrada Aguas Calientes y el azufral El Salvaje.

En cuanto a las muestras de sedimentos de 1981, estas corresponden a fuentes termales de los estados Monagas, Anzoátegui y Sucre, con las cuales se procedió a realizar un análisis de agrupaciones (fig. 139), discriminándose cuatro grupos. En la tabla 48 aparecen los valores promedios de los grupos. En la tabla 48 aparecen los valores promedios de los elementos para cada grupo. Se observa que las muestras del grupo 4, son aquellas anómalas con respecto a algún elemento (ver lista de muestras anómalas en la tabla 48). Los otros tres grupos presentan características de concentraciones crecientes entre ellos, así que el grupo 1 es el que presenta la concentración más baja en casi todos los elementos analizados menos Mn. La constitución de cada grupo es muy heterogénea con

muestras de localidades muy distintas, correspondientes a fuentes termales con aguas de diversos tipos y temperaturas. De todos los grupos el más homogéneo es el 3, cuyas muestras exceptuando una corresponden al estado Anzoátegui.

La explicación de las muestras anómalas encontradas no es fácil con la poca información disponible, pero evidentemente sugiere que aquellas zonas con alto contenido de Zn, del estado Anzoátegui y Monagas merecen un trabajo de seguimiento. El alto contenido de Pb en la zona de Las Minas - Aguas Calientes sugiere que en las partes profundas del sistema hidrotermal pueda haber alguna mineralización de tal elemento, al igual que las existentes a unos 6 Km hacia el norte, en la localidad del Gran Pobre.

TABLA 48  
PROMEDIOS DE LOS GRUPOS

	Fe	Zn	Mn	Cu	Cr	n
Grupo 1	1,98	59	71	19	50	15
Grupo 2	3,10	196	91	27	80	7
Grupo 3	1,85	857	27	40	122	7
Grupo 4	6,79	822	1471	29	87	4
Total						
media	2,86	282	243	26	78	33
des.est.	3,06	578	642	11	41	

**MUESTRAS ANÓMALAS**

Fe	Zn	Mn	Cu	Cr	LOCALIDAD
An-10-A -----	920	-----	-----	-----	Bergantín
An-20 -----	800	-----	-----	-----	Montecristo
An-24 16,0 -----	620	-----	-----	-----	Paso de Pekín
Mo-33 -----	3150	-----	53	162	Represa El Guamo
Su-13 -----	-----	2188	-----	-----	Aguas Caliente Chiquito
Su-13-1 -----	-----	3028	-----	-----	Aguas Caliente Chiquito

**DENDROGRAMA DE LAS VARIABLES**

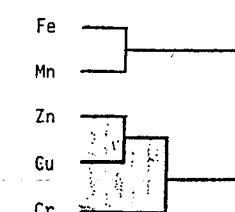
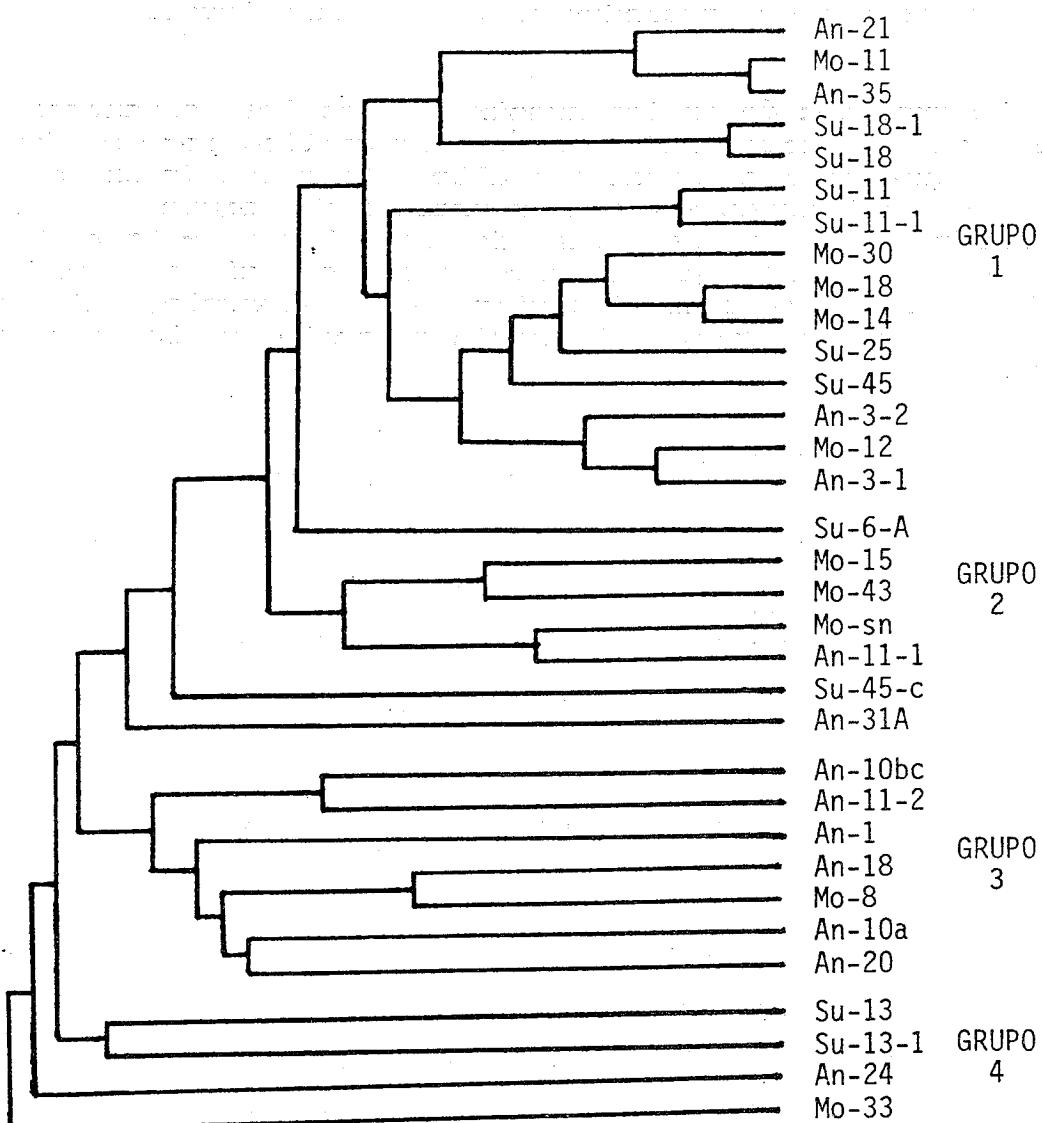


Figura 139

## DENDROGRAMA DE LAS MUESTRAS

MATRIZ DE COEFICIENTES DE CORRELACION

	Fe	Zn	Cu	Cr
Zn	-0,15			
Mn	0,40	-0,13		
Cu	-0,20	0,67	-0,18	
Cr	-0,03	0,57	-0,20	0,60

5. SUMARIO Y CONCLUSIONES5.1. SUMARIO DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS GEOTERMICOSDE VENEZUELA

La tabla 49 presenta un resumen de las características más resaltantes de los sistemas geotérmicos de Venezuela, con la siguiente información:

(1) Nombre del sistema (o agrupación de manifestaciones geotérmicas).

(2) Temperatura máxima medida [ $t(c)m$ ].

(3) Temperaturas máximas estimadas para el posible reservorio que alimenta las manifestaciones geotérmicas, este último se subdivide en dos valores:  $t(r)_i$  y  $t(r)_p$ , donde el primero indica la temperatura de algún reservorio intermedio y el segundo la de un posible reservorio profundo. A los efectos se darán dos estimados únicamente cuando los geotermómetros químicos apunten a dos posibles niveles de interacción, pero si hay evidencia de un solo reservorio, este se presentará como  $t(r)_i$ .

(4) Tipo de agua, resumido como el anión y el catión mayoritarios.

(5) Estimado del flujo calórico del área en  $mW/m^2$ . Para esto se empleó la fórmula propuesta por SWANBERG y MORGAN (1980, fide HAMZA y ESTON, 1982):

$$Q (mW/m^2) = [ t(\text{geo}) - t(\text{ma}) ] \times 1,476$$

esta ecuación es aplicable a casos como el venezolano, donde se carece de datos y equipos para efectuar las mediciones por los métodos convencionales. El coeficiente indicado ha sido propuesto considerando una conductividad media de las rocas corticales y una posible profundidad de circulación de las aguas de 1400 m.

Tabla 49. Sumario de los sistemas geotérmicos venezolanos.

<u>Nombre-ubicación</u>	<u>t(c)m</u>	<u>t(r)i</u>	<u>t(r)p</u>	<u>tipo</u>	<u>mW/m2</u>
<b>Región occidental</b>					
Tarra-Los Manueles, Zu.	96	-	-	HCO3-Ca	-
Ureña, Ta.	60	78	-	HCO3-Na	77
Guanare, Po.	37	190	-	HCO3-Na	242
Falla de Valera, La, Tr, Zu	85	110	-	HCO3-Na Cl-Na	124
Falla de Boconó, Me.	55	80	-	HCO3-Ca SO4-Na	80
Volcanes Sanare y Cubiro, La	115	-	-	-	-
San Juan de la Vega, Fa.	39	100	-	Cl-Na	109
La Vela de Coro, Fa.	31	100	132	Cl-Na	156
Siburúa-Meachiche, Fa.	38	43	-	HCO3-Ca HCO3-Na	-
<b>Region central</b>					
<b>Faja costera</b>					
Chichiriviche, D.F.	73	165	Cl-Na	205	
Caruao, D.F.	71	155	Cl-Na	190	
<b>Faja de valles intermedios</b>					
Trincheras, Ca.	97	170	220	HCO3-Na	286
Mariara, Ca.	75	130	160	HCO3-Na	198
El Castaño, Ar.	42	60	145	HCO3-Na	176
Villa de Cura, Belén, Ar. Ca.	28	40	85	HCO3-Mg	87
Tácata, Mi.	30	80	-	HCO3-Na	80
Colonia Mendoza, Mi.	26	80	-	Cl-Na	80
Juan Díaz, Mi.	37	105	-	Cl-Na	117
<b>Faja sur.</b>					
San Juan de Los Morros, Gu.	34	85	-	HCO3-Na	87
San Sebastián-San Casimiro, Ar.	27	80	110	HCO3-Na	124
Ortiz, Calabozo, Gu.	28	80	-	HCO3-Na	80
Guarumen, Gu.	47	70	120	HCO3-Na	139
Batatal, Mi.	57	65	170	HCO3-Na	213
Clarines, An.	44	-	70	HCO3-Na	139

Tabla 49. Sumario... (Continuación).

<u>Nombre-ubicación</u>	<u>t(c)m</u>	<u>t(r)i</u>	<u>t(r)p</u>	<u>tipo</u>	<u>mW/m2</u>
<b>Region oriental</b>					
<b>Anzoátegui</b>					
Pozuelos-Provisor	34	40	-	HCO3-Ca	21
Naricual-Aragüita	45	65	-	HCO3-Ca	58
San Diego-La Toma	52	70	-	HCO3-Na	121
Bergantín-Querecual	24	45	-	HCO3-Ca	28
Urica	36	70	-	HCO3-Ca	65
Mundo Nuevo	26	50	-	HCO3-Ca	35
<b>Monagas</b>					
Caripito	28	50	-	HCO3-Ca	35
Quiriquire	36	65	180	HCO3-Na	227
San Antonio-San Francisco	28	60	-	HCO3-Ca	50
<b>Sucre</b>					
Los Ipures, Cumaná	47	85	120	HCO3-Na	139
Sur Golfo Cariaco	60	60	120	HCO3-Na	139
Pantoño	37	100	-	HCO3-Na	109
Santa Rosa-Chacaracual	47	55	130	HCO3-Na	154
Río Casanay	37	55	-	HCO3-Mg	43
Mundo Nuevo	95	-	140	SO4-Ca	168
Las Minas-Aguas Calientes	100	250	320	SO4-Ca	434
Sur de El Pilar	58	70	70	Cl-Ca	65
Este de El Pilar: No Carlos Maraval	51	-	150	HCO3-Ca	183
	32	60	-	HCO3-Na	139

**5.2. DISTRIBUCION DE LAS MANIFESTACIONES GEOTERMICAS**  
 (Control tectónico y estratigráfico).

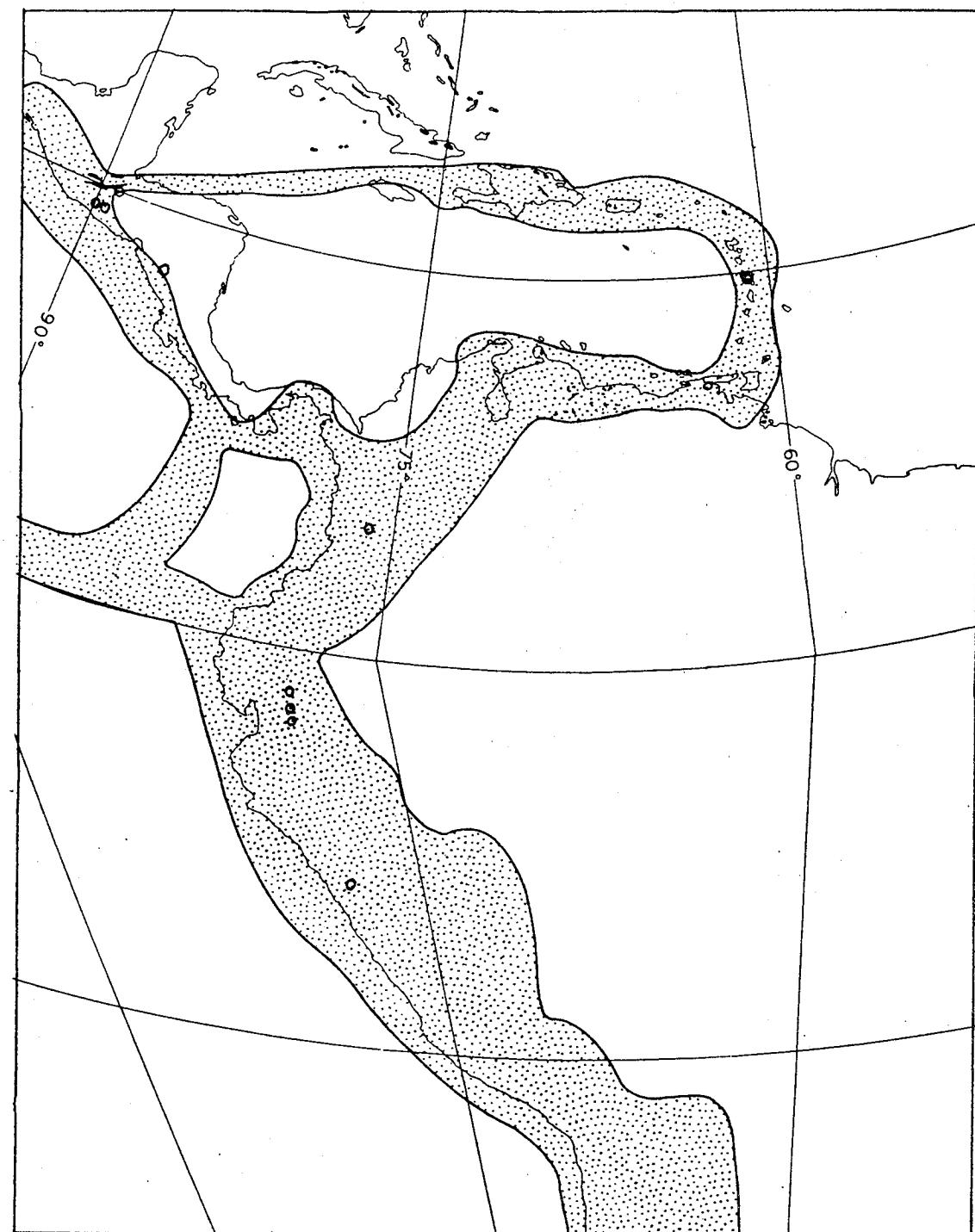
**5.2.1. Control tectónico.**

A nivel de todo el planeta, los cinturones geotérmicos se corresponden con las zonas de interacción entre placas y esto a su vez coincide con los cinturones de mayor actividad sísmica y volcánica, es decir, las zonas cordilleranas de Venezuela (fig. 140).

A nivel de todo el país como es de esperarse, las manifestaciones geotérmicas se distribuyen a lo largo de la Cordillera de la Costa, las zonas Andinas y de Perijá, que son montañas jóvenes con comprobada actividad neotectónica, y dentro de estas zonas montañosas siguen las principales líneas de geofracturas, que se resumen a continuación, referidas en la fig. 141:

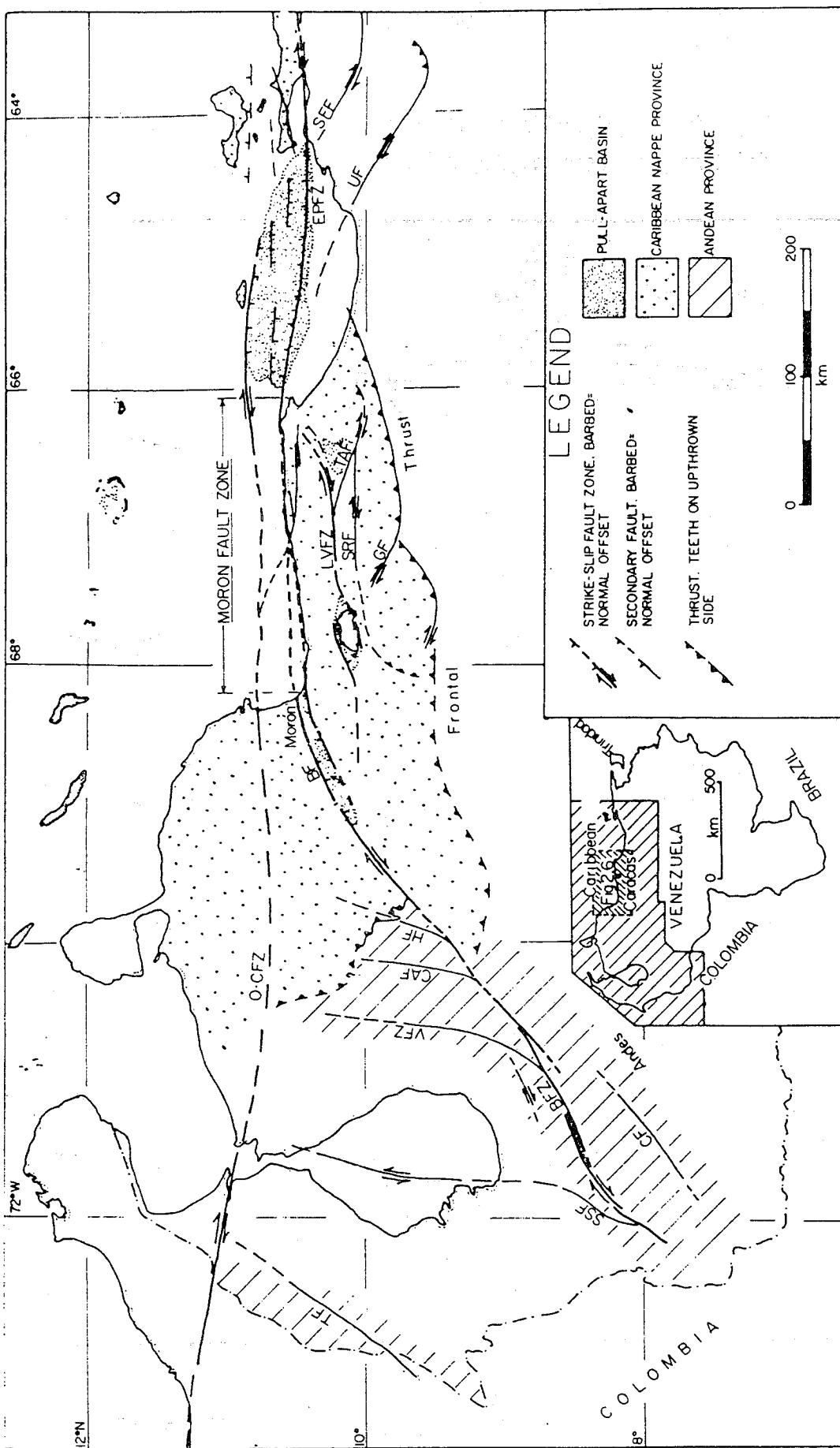
región	zona de falla con fuentes termales	sigla en fig. 141
Perijá	El Tigre	TF
Andes	Boconó Caparo Las Virtudes-Caraño Valera	BFZ, BF CF LVF VFZ
Centro	Morón (fallas costeras) La Victoria, Santa Rosa y Tácata (zona intermedia) Guárico y corrimiento frontal	LVFZ, SRF TAF GF
Oriente	El Pilar San Francisco Urica	EPFZ SFF UF

Fig. 140 Mapa de distribución de las descargas de CO<sub>2</sub> en América del Sur y el Caribe. (Según BARNES et al., 1978)



Zona punteada: Zona con emisiones de CO<sub>2</sub>  
 Círculos: Emisiones fuertes de CO<sub>2</sub> estudiadas por BARNES et al., 1978

Fig. 141. Mapa de distribución las principales fallas activas de Venezuela



(Mapa cortesía: Carlos Schubert)

TF : Falla El Tigre      BFZ: Zona de fallas de Boconó      LVFV: Falla La Victoria  
 SSE: Falla San Simón      VFZ: Zona de fallas de Valera      SRF : Falla Santa Rosa  
 CFF : Falla de Caparo      CAF: Falla de Carache      GF : Falla de Guárico  
 HF : Falla de Humocaro      TAF : Falla de Táctata

A una escala más detallada (1:500.000 - 1:200.000), (ver mapas contenidos en el Tomo III de este trabajo) se observa que la distribución de las manifestaciones geotérmicas, verdaderamente siguen las grandes líneas señaladas, pero hay cierto número de manifestaciones alejadas de las mismas.

En la fig. se observa con claridad la ubicación de las fuentes cercanas a la zona de fallas de Boconó, donde se han ubicado 21 manifestaciones geotérmicas, de las cuales solo 9 se encuentran a una distancia menor de 1 Km de la traza de falla activa, el resto se localiza a una distancia variable de 1 a 5 Km de la misma. Al ser analizada la ubicación de este último grupo de manifestaciones, en mapas detallados, se aprecia que estas generalmente brotan controladas por fallas menores, paralelas, subparalelas o relacionadas con el sistema de fallas de Boconó, o bien fluyen a través de contactos formacionales o discordancias. La misma tendencia se nota en el mapa de ubicación de las manifestaciones geotérmicas de la región de Cariaco - El Pilar (hoja 1, anexo A, Tomo III).

Las relaciones de ubicación de manifestaciones con los grandes sistemas de fallas, se explica como sigue:

1) Estas zonas de fallas controlan la existencia de áreas deprimidas (topográficamente bajas relativo a las montañas adyacentes), valles intermontanos, etc., que en su intersección con las fallas son los lugares más propicios para la emergencia de las aguas termales.

2) Constituyen zonas de debilidad profundas en la corteza terrestre, algunas como las de Boconó y El Pilar tienen actividad sísmica actual de hasta 15 Km de profundidad. En la superficie, la zona de fallas puede alcanzar varios kilómetros de ancho, facilitando la infiltración del agua meteórica. De esta manera puede alcanzar niveles profundos (varios kilómetros), donde aun en condiciones de flujo calórico normal permite un notable aumento de la temperatura. Todo esto ocurriría en un ciclo hidrológico normal que incluye: (a) una zona de infiltración en la amplia región montañosa que rodea a la parte deprimida, (b) circulación y profundización del agua, (c) por el gradiiente hidráulico generado el agua asciende, (d) y finalmente el agua brota en los manantiales.

3) En un ciclo hidrológico normal, los apartes (a) y (b) del punto anterior se efectúan en una zona amplia, aprovechando todo tipo de características apropiadas: fallas, zonas fracturadas y diaclasadas, permeabilidad primaria, etc., pero las zonas de ascenso, fundamentalmente están controladas por las grandes fallas activas, por ser aquellas donde los fluidos circularian desde mayor profundidad y los manantiales propiamente dichos pueden estar controlados por numerosos factores locales, no necesariamente relacionados con las grandes fallas: rocas con permeabilidad primaria o por fracturamiento, pequeñas fallas, contactos litológicos, discordancias, etc.

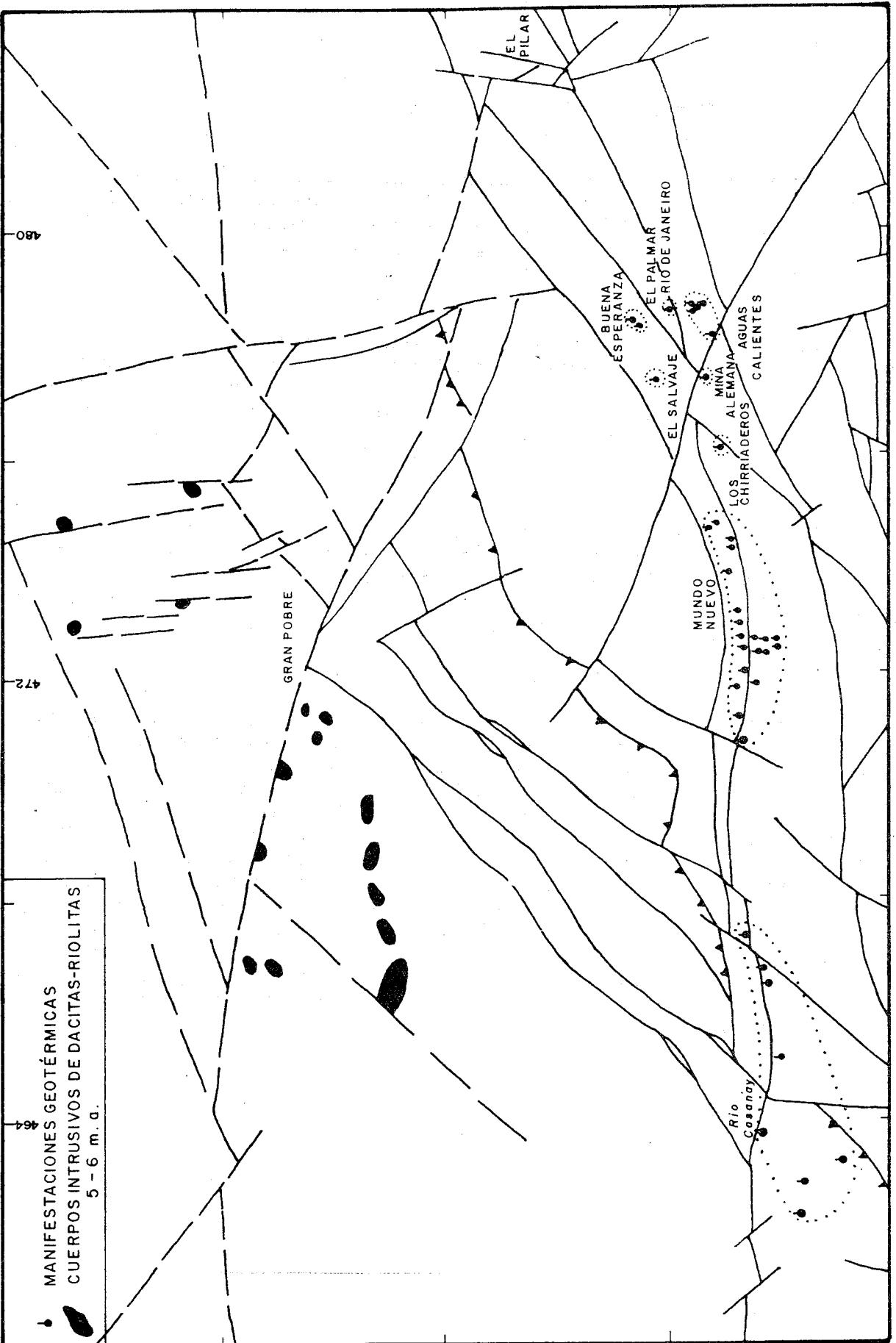
Control tectónico de las manifestaciones geotérmicas de la zona de El Pilar - Casanay.

La zona en consideración, por ser la de mayor densidad de manifestaciones geotérmicas, con mayores temperaturas en superficie y estimadas en el subsuelo, se discutirá con más detalle. En las figuras 143 a 147 se exponen diversos mapas en los que se detallan las características geológicas y tectónicas del área, y aun cuando los diversos autores proponen patrones diferentes de fallamiento, está claro que el control tectónico principal de ésta agrupación de manifestaciones geotérmicas, lo constituye el sistema de fallas de El Pilar con dirección E-W. A nivel local puede sugerirse que la ubicación precisa de algunas manifestaciones está controlada por fallas con direcciones N-W o N-E.

A continuación se señalan los factores tectónicos, que combinados, hacen que esta zona sea la de mayores posibilidades para la existencia de actividad geotérmica en Venezuela, a saber:

- 1) En la zona de Nueva Colombia - Mundo Nuevo - Las Minas y Aguas Calientes, afloran areniscas de la Formación Barranquín (VIGNALI, 1977) que dentro de la región son relativamente las de mayor permeabilidad, tanto primaria como secundaria por el fracturamiento debido a la zona de fallas de El Pilar.
- 2) Las investigaciones efectuadas por FUNVISIS con la red sísmica de la región, indican que la zona de fallas de El Pilar es sísmicamente activa (figs. 147), con profundidades focales de hasta 15 Km (A. SINGER, com. oral, 24-2-1984).
- 3) En la zona de mayor concentración de manifestaciones, se ha señalado la existencia de numerosas fallas y zonas de fracturas, con rumbos NW y NE (figs. 145).
- 4) Según la información geológica regional [figs. 145 y 147, y el mapa de lineamientos de la imagen de radar, hoja 1, anexo B, tomo III], se observa que en la zona de Las Minas - Aguas Calientes se intersectan tres patrones regionales de fallas (o lineamientos), a saber: (a) la tendencia E-W del sistema de fallas de El Pilar, (b) un lineamiento NE de aproximadamente 100 Km de longitud, y (c) un lineamiento NW menos prominente pero también de gran extensión, con una dirección paralela a la del sistema de fallas de Los Bajos-El Soldado, y que controla la terminación de las zonas de afloramientos de las formaciones Cretáceas contra los aluviones de caño Turuépano.
- 5) Interpretaciones tectónicas globales señalan a la zona de fallas de El Pilar y el sistema Los Bajos-El Soldado, como la zona de interacción entre las placas del Caribe y de Sur América (e.g.: PEREZ y AGGARWAL, 1982).

Fig. 145 PATRÓN DE FALLAMIENTO DE LA ZONA DE EL PILAR-RÍO CASANAY, según V. CAMPOS (1981)



### 5.3. EL AGUA DE LAS MANIFESTACIONES GEOTERMICAS: su origen y mineralización

#### 5.2.2. Control estratigráfico.

Como se indicó suscintamente en la sección anterior, a un nivel detallado se nota que el punto de emergencia de muchas manifestaciones geotérmicas o grupos de ellas, está controlado por algún factor de tipo estratigráfico, que se resume a continuación:

*Capas de rocas con permeabilidad primaria.* Este es un caso muy común en las fuentes localizadas en cuencas sedimentarias jóvenes, y los mejores ejemplos los constituyen las fuentes termales de Guarumen, Guárico, en las areniscas de la Formación Quebradón, y los manantiales de Los Pilanciones, en las arenas de Limolitas del Miembro San Juan de La Vega, Falcón.

*Contactos formacionales.* Los manantiales ocurren usualmente cuando hay un contraste litológico y de permeabilidad, entre las formaciones involucradas. Los mejores ejemplos están en el estado Mérida, como las fuentes de Santa Apolonia Abajo que brotan de los contactos entre las formaciones Aguardiente, Capacho, La Luna y Colón.

*Discordancias.* Las discordancias son un importante factor controlante de manifestaciones geotérmicas, en especial aquellas ubicadas en las zonas piemontinas de las cadenas montañosas, como en Perijá, en el flanco NW y SE de la cordillera Andina y en el norte de Monagas. El mejor ejemplo que se ha estudiado es en la zona de la discordancia entre las formaciones del Cretáceo y rocas terciarias en la zona de Quiriquire, hacia el norte tenemos una serranía donde afloran las formaciones El Cantil y Querecual, con fuerte desarrollo de topografía cársica que facilita la infiltración del agua, y hacia el sur estas están cubiertas discordantemente por rocas de la Formación Quiriquire, cuyas zonas arcillosas producen un sello que obliga a las aguas ascendentes, a canalizarse a través de la superficie de la discordancia.

La experiencia internacional a través de estudios con isótopos naturales (e.g.: WHITE et al., 1970), indica que prácticamente toda el agua involucrada en los ciclos de convección hidrotermal es agua de origen meteórico. En Venezuela los pocos análisis de tritio de la zona de Las Minas, Sucre, apoyan esta interpretación.

En lo que respecta a la mineralización de las aguas, en la mayoría de los casos para su explicación es suficiente con un análisis de los tipos litológicos involucrados. Los iones mayoritarios de las aguas son  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{F}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ , los cuales constituyen normalmente mas del 90 % del contenido mineral del agua.

La procedencia del bicarbonato, usualmente es explicable a través de los procesos que ocurren tanto en la atmósfera, como a nivel del suelo, y mas profundamente por la disolución de rocas carbonáticas. El sulfato proviene mayoritariamente de la oxidación de la pirita.

El cloro en gran parte es de procedencia marina, ya sea por mezcla con acuíferos salobres en zonas costeras, o por los vientos que desde las zonas marinas transportan tierra adentro pequeños cristales de  $\text{NaCl}$ . En el caso de manifestaciones geotérmicas con alto contenido de cloro ubicadas tierra adentro, donde los procesos anteriores no serían aplicables, entonces usualmente están involucradas rocas sedimentarias de origen marino, cuyas aguas de formación son verdaderas salmueras con muy altas concentraciones de  $\text{Cl}$  y  $\text{Na}$ . También pueden estar involucradas rocas con metamorfismo de bajo grado, ricas en clorita, que son lixiviadas por aguas calientes profundas.

Los cationes se explican de igual manera, el sodio cuando presenta una alta correlación positiva con el  $\text{Cl}$ , tiene un origen similar a éste, pero cuando están involucradas rocas con feldespatos alcalinos (en su mayoría rocas ígneos-metamórficas) está controlado principalmente por estos minerales.

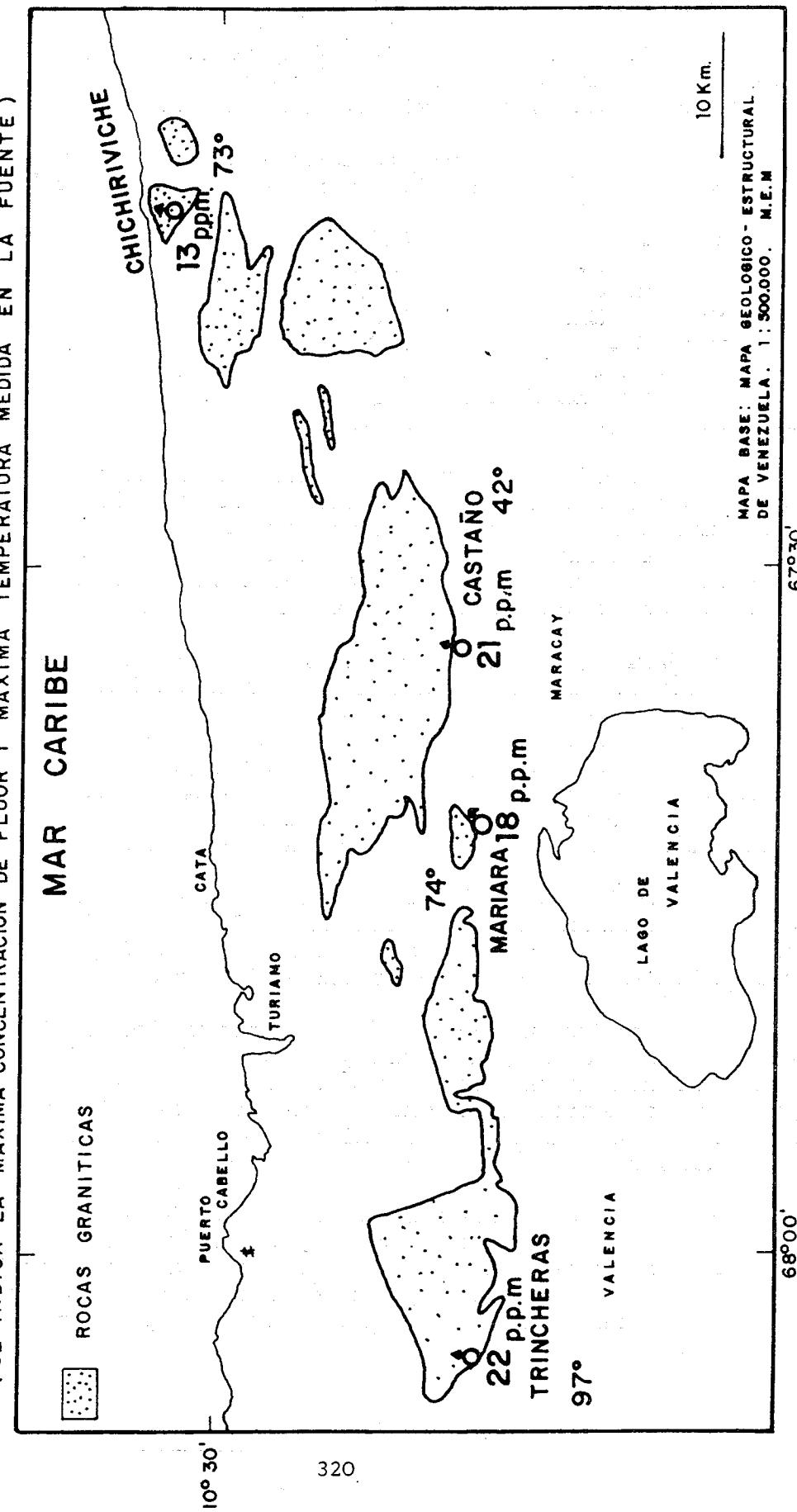
El calcio y el magnesio, están controlado generalmente por rocas carbonáticas, pero en el contenido de magnesio puede haber fuerte influencia de rocas ultramáficas.

D  
En el caso particular de los diversos sistemas geotérmicos de Venezuela, en el capítulo 4 ya se hizo referencia a las posibles formaciones involucradas y que pueden explicar la mineralización. A continuación se presenta el caso particular de un grupo de fuentes termales de la región central de Venezuela, con muy alto contenido de fluor:

nombre	contenido maximo de F, en ppm.	contenido estimado en el reservorio caliente profundo
Trincheras	22	-
Mariara	18	-
El Castaño	21	-
Chichiriviche	13	45
Caruao	4	12

Esta anomalía la explicamos por el hecho de que las aguas involucradas en los ciclos hidrológicos locales de estas manifestaciones, están en su mayor parte en contacto con rocas graníticas (fig. 148), que son las de mayor contenido de fluor de la naturaleza...

FIG. 148  
DISTRIBUCION DE LAS ROCAS GRANITICAS EN LA CORDILLERA DE LA COSTA  
Y UBICACION DE FUENTES TERMALES CON ALTO CONTENIDO DE FLUOR.  
( SE INDICA LA MAXIMA CONCENTRACION DE FLUOR Y MAXIMA TEMPERATURA MEDIDA EN LA FUENTE )



### 5.3.1. Cambios históricos en las fuentes termales.

En toda Venezuela, hasta la fecha, solo se dispone de análisis químicos y mediciones de temperatura, por un periodo mayor de 30 años, en siete fuentes termales:

nombre	Primeras medición de temperatura	Primeras composición química
Ureña, Ta.	1897	1938
Guadalupe, Fa.	1876	1876
Pilancones, Fa.	1837	1983
Trincheras, Ca.	1800	1878
Mariara, Ca.	1800	1938
Guarumen, Gu.	1876	1876
San Juan de Los Morros	1822	1941
Los Ipures, Su.	1876	1876

Del análisis comparativo de la información de temperatura y composición química de dichas fuentes (cap. 2, tomo III), se concluye que el único cambio relevante es la disminución de 20 °C, en la fuente de Los Pilancones desde 1837 a la fecha. En el capítulo 4 se explicó esta disminución en términos de la desertización paulatina del área.

### 5.3.2. Posibles cambios en temperatura y composición química del agua basado en los depósitos minerales.

Del análisis de los depósitos minerales presentes en diversas manifestaciones geotérmicas, puede concluirse que desde tiempos pasados hasta la fecha, han ocurrido cambios significativos en la temperatura y tipo de mineralización del agua. Los casos conocidos son los siguientes:

*Azufrales de la zona de río Casanay y Mundo Nuevo.* En esta zona se encuentran diversos azufrales hoy día inactivos, que revelan altas temperaturas en el pasado por la presencia de cristales de azufre y depósitos silíceos.

*Travertino en los depósitos minerales de las fuentes de la represa El Guamo, Monagas y en Juan Díaz, Miranda.* En estas manifestaciones se identificó estilbita, de la que se estima que para su formación se requiere una temperatura superior a 50 °C, mientras que las aguas actuales tienen temperaturas de 26 y 37°C respectivamente.

*Depósito de thompsonita en Los Mijaos, Táchira, Miranda.* No se puede definir con precisión el posible campo de temperatura para la cristalización de esta zeolita, pero por referencias indirectas y su índice energético, se concluye que sea necesaria una temperatura mayor que para la estilbita, quizás mayor de 70-80°C.

*Depósitos de Los Pilancones, Falcón.* En esta manifestación existen grandes depósitos antiguos de calcita y actuales de trona y alunita. La explicación del cambio químico correspondiente se ha basado en el proceso de desertización de la zona.

### 5.4. ORIGEN DE LA TERMALIDAD

#### 5.4.1. Generalidades.

Bajo la denominación de *termalidad*, en la literatura geotérmica se trata lo relacionado sobre las causas y el origen del calor necesario para elevar la temperatura de los fluidos involucrados en las manifestaciones geotérmicas. Como se ha reseñado en secciones anteriores, a nivel general las manifestaciones geotérmicas del mundo están situadas fundamentalmente a través de las zonas de interacción entre placas tectónicas. Estas zonas tienen un alto flujo calórico, el cual disminuye a medida que vamos hacia los cráteres Precámbricos.

En Venezuela la mayor parte de las manifestaciones geotérmicas, están distribuidas a lo largo de las cadenas montañosas, con probada actividad neotectónica, y por consiguiente con un gradiente geotérmico predecible, mayor que en las cuencas sedimentarias adyacentes. En nuestro país no se dispone de un mapa de flujo calórico, ni hay mediciones directas que permitan su elaboración, pero en los últimos cinco años ha habido mucho interés en las empresas petroleras en estudiar la evolución térmica de las cuencas sedimentarias, por lo que se han producido algunos mapas de gradientes geotérmicos locales, pero en zonas muy alejadas a aquellas con manifestaciones geotérmicas.

#### 5.4.2. Zonas termalmente anómalas de Venezuela y su posible origen.

Como se puede ver en la tabla 49 en Venezuela hay diversas zonas donde se interpreta la existencia de reservorios geotérmicos con temperaturas mayores de 120°C, estas se resumen a continuación, y se explicarán individualmente en las secciones siguientes:

I. Franja de sistemas geotérmicos a lo largo de la zona de fallas de El Pilar, desde Cumaná hasta Tunapuy, Sucre. Con temperaturas estimadas entre 120 y 320°C.

II. Fuentes de Guarumen y Batatal, en el piedemonte de la Cordillera de la Costa, Guárico y Miranda. Con estimados de 120 y 170°C, respectivamente.

III. Fuentes ubicadas a lo largo de prominentes geofracturas: como:

(1) Fuentes de la zona costera de la Cordillera de la Costa, en Chichiriviche y Caruao, D.F. Con estimados de 155 y 165 °C respectivamente.

(2) Fuentes del norte de la cuenca de Valencia, entre Las Trincheras, Mariara y El Castaño, Carabobo y Aragua. Donde se han estimado temperaturas desde 220 a 145°C.

(3) Zona de la falla de Boconó, entre Sanare y San Miguel, Lara. Ahí tenemos el volcán de Sanare, que es una fumarola con una temperatura máxima de 115 °C.

(4) Zona del piedemonte andino, cerca de Guanare, Portuguesa, con un estimado de geotermómetros de 190°C.

(5) Zona de fallas del Valera, estados Lara, Trujillo y Zulia. Con estimados de 110°C [con  $t_{cz}$ ], posiblemente sea un valor mayor.

#### 5.4.3. Zona de fallas de El Pilar.

Esta es una zona de aproximadamente 250 Km de longitud en la cual se encuentran diversas zonas con manifestaciones geotérmicas, cuyos estimados de los geotermómetros químicos, varían generalmente entre 120 y 150°C, con la excepción de la zona de Mundo Nuevo - Las Minas - Aguas Calientes, donde se estima una temperatura de hasta 320°C. La alta temperatura de este sector particular, se trata de explicar a continuación:

1) En primer lugar se deben tomar en cuenta las características tectónicas y estratigráficas propicias que se conjugan en esta región, señaladas en la sección 5.2.1., para facilitar la localización y ascenso de fluidos calientes, donde resalta la presencia de areniscas de la Formación Barranquín, afectadas por la falla de El Pilar y su intersección con dos prominentes sistemas de fallas (o lineamientos) en la zona en consideración, y con más precisión, en Las Minas - Aguas Calientes.

2) El segundo factor de importancia, es que dentro de esta zona general (variable según los diversos autores), se ha ubicado la terminación del arco volcánico de las Antillas, y la posible zona de borde de las placas del Caribe y de Sur América. Las rocas volcánicas que se discutirán en el próximo párrafo, se han considerado como el evento magmático más meridional del citado arco.

3) En la zona existen rocas volcánicas jóvenes de tipo riolitas - dacitas (SCHUBERT y SIFONTES, 1984), de las cuales hay dos edades K-Ar, una por F. SANTAMARIA de 5 m.a., y otra de 1983 determinada por la empresa WEST JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS de 6 m.a.; y S. SIFONTES estima que en la zona pueden existir hasta 50 pequeños cuerpos de este tipo de roca, pero solo ubicó 27, de los cuales 17 aparecen en el mapa de la fig. 145. La mayor acumulación de estos cuerpos se localizan a una distancia de 6 a 7 Km de Las Minas - Aguas Calientes

Estos numerosos cuerpos con escasa expresión superficial, probablemente sean los remanentes erosionales de conductos de ascenso de magma o representen pequeños cuerpos intrusivos (apófisis). Aun cuando no se ha demostrado, los autores que recientemente han tratado el problema (S. SIFONTES, C. SCHUBERT, S. TALUKDAR, los geólogos de la W.J.E.C., y el autor de este trabajo) consideran muy probable que en el subsuelo exista algún cuerpo magmático, posiblemente granítico en proceso de enfriamiento. Según cálculos realizados por S. TALUKDAR y F. URBANI, se estima que un cuerpo de este tipo con dimensiones de una o mas decenas de Km<sup>3</sup> de magma, requeriría un tiempo de por lo menos 20 m.a. para que la zona se reequilibre a la temperatura pre-intrusión.

Con las anteriores consideraciones, se interpreta que el sistema geotérmico de Las Minas-Aguas Calientes no es ni un sistema geotérmico volcánico típico, ni es un sistema geotérmico tectónico típico. Se prefiere interpretar como originado en una zona donde existe un gradiente geotérmico anormalmente alto, debido a un cuerpo magmático profundo en proceso de enfriamiento, ayudado por una zona de debilidad de gran profundidad que facilita el proceso de convección hidrotermal.

#### 5.4.4. Fuentes termales de Guarumen y Batatal.

Estas manifestaciones tienen la particularidad de encontrarse muy al sur dentro de la faja de la Cordillera de la Costa, alejadas de las grandes geofracturas de la Cordillera, de ellas se estimaron valores relativamente altos para la temperatura de los posibles reservorios que alimentan las fuentes. Por estas razones se ha tratado de encontrar explicaciones alternas para el origen de la termalidad del área.

Además de la información de las fuentes termales, se conoce que en la cuenca sedimentaria de Guárico, cerca del frente de montañas, hay una serie de campos donde las empresas petroleras han encontrado grandes yacimientos de gas, con alta presión y temperatura (ejm.: 193°C a 2400 m en Yagual). Estos tipos de yacimientos posiblemente se deban al proceso compresivo de norte a sur, que por el efecto de compresión adiabática de los fluidos eleva la temperatura en una franja paralela al frente de montañas. Este efecto produce un considerable aumento del gradiente geotérmico de la región (7°C/100m), que a su vez pudiera permitir el calentamiento del agua meteórica en su profundización.

#### 5.4.5. Sistemas geotérmicos de alta temperatura, asociados a sistemas de fallas de gran extensión.

En esta sección se quieren hacer algunos breves comentarios sobre los sistemas geotérmicos mencionados en la sección 5.4.2. parte III, es decir los asociados a grande geo fracturas. En ellos no hay evidencia de volcanismo joven, ni de ninguna otra posibilidad de fuentes anómalas de las altas temperaturas, solamente nos queda la posibilidad del calentamiento del agua a través de una circulación suficientemente profunda, en zonas que por sus características tectónicas pueden tener un gradiente geotérmico ligeramente superior al promedio. Estos caen en la categoría de *sistemas geotérmicos tectónicos* propiamente dichos.

### 5.5. APLICACIONES DE LOS RECURSOS GEOTERMICAS VENEZOLANOS

#### 5.5.1. Aplicaciones energéticas

Vistas las características de las zonas termalmente anómalas de Venezuela, interpretamos que dadas las condiciones del país y con la tecnología actual de generación de energía eléctrica a partir de fluidos geotérmicos, la única zona con atractivo y posibilidades de resultar económicamente rentable, es la de Las Minas - Aguas Calientes - Mundo Nuevo, que son actualmente las únicas conocidas donde se pueden estimar temperaturas mayores de 250°C.

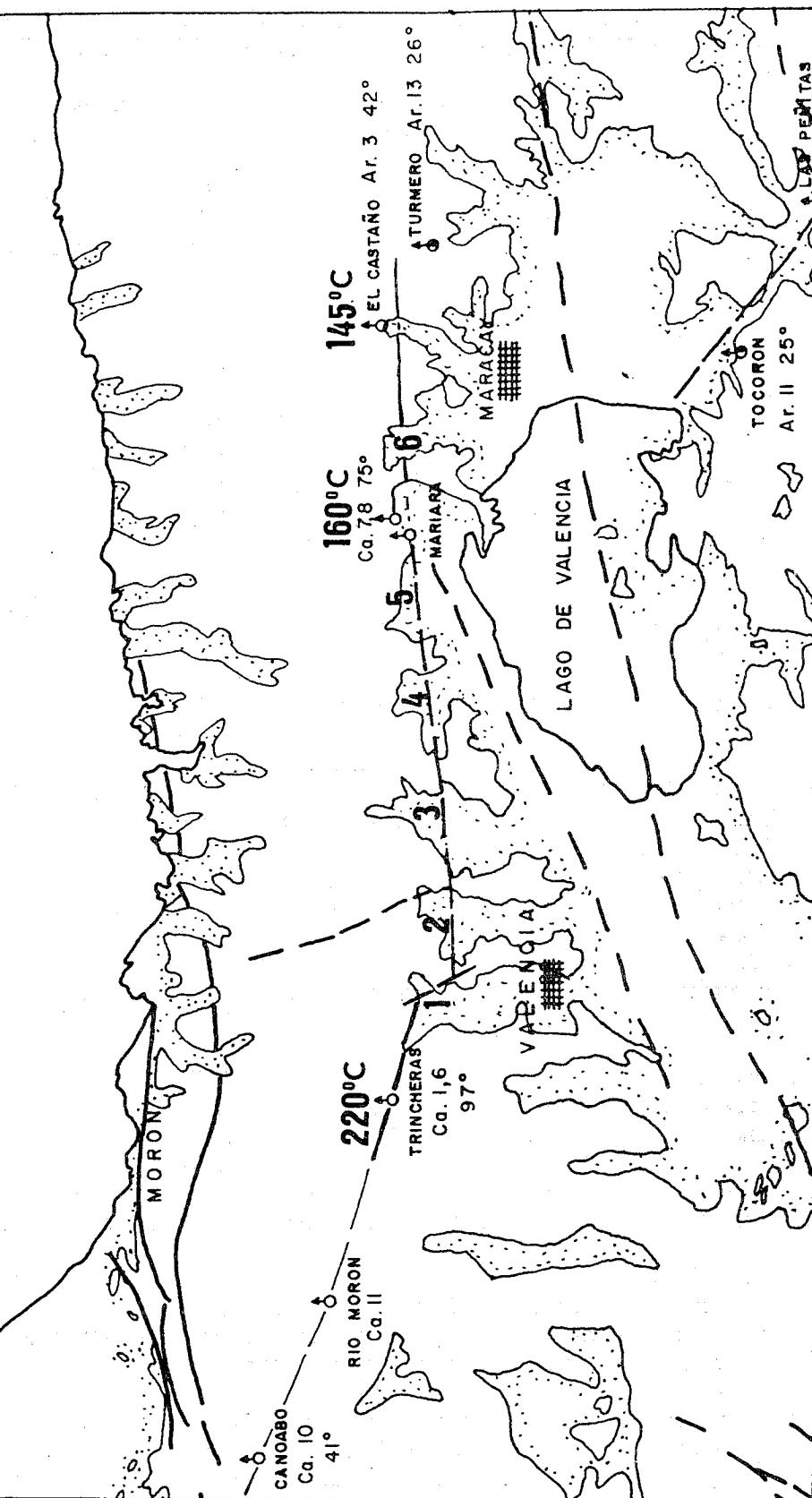
Otros sistemas geotérmicos de la región occidental del país, quizas con estudios mas detallados, pudieran indicar otras zonas de interés, y aquellos sistemas geotérmicos donde se han estimado temperaturas entre 140 y 200 °C, posiblemente en un futuro pudieran resultar atractivos, pero no en la actualidad ya que el país aun tiene muchas posibilidades no explotadas de generación de hidroelectricidad.

Del grupo de sistemas geotérmicos con temperaturas entre 140 y 200°C, los que parecen de mas interés son los del norte de Valencia - Maracay (fig.149), considerando que esta zona esta muy industrializada y densamente poblada, y de poder extraerse fluidos geotérmicos de alta temperatura, quizás puedan servir para fines industriales.

#### 5.5.2. Aplicaciones no energéticas.

Venezuela dispone de suficientes fuentes termales, en cantidad y variedad que permitieran establecer toda una red de establecimientos para fines médico-turísticos, a lo largo de las zonas mas pobladas. En la tabla 50 se presenta un listado de las fuentes termales mas adecuadas para estos fines, revisando el uso actual y posibilidades de uso futuro.

Fig. 149. SISTEMAS GEOTERMICOS DE ALTA TEMPERATURA DEL NORTE DE LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA



Lugares prospectivos: 1) Naguanagua, 2) San Diego, 3) Vigirima, 4) San Joaquín, 5) Mariara  
6) El Limón.

Escala: 1:500.000

Tabla 50. USO ACTUAL Y RECOMENDACIONES PARA LA UTILIZACION MEDICO-TURISTICAS DE LAS FUENTES TERMALES VENEZOLANAS.

Nombre	estado actual uso instalaciones	uso propuesto y obs.
Las Minas-Aguas Calientes, Su.	- - D	Possible generación de electricidad. Parque recreacional, Museo, zona turística, etc.
Morros Caripito, Mo.	FMT	IED MIS
Los Baños, Mo.	local	- FMT
Pantoño, Su.	FMT	IED MIS y EA
Pericantal, Su.	EA	adecuado EA
Cachamasure, Su.	FMT	IED MIS
Los Ipures, Su.	local	- FMT y EA
Pozuelos, An.	EA	adeacuado EA
Clarines, An.	local	rudiment. FMT y EA
Batatal, Mi.	local	- FMT
Caruao, d.f.	-	FMT (con perforación)
Chichiriviche, D.F.	-	FMT (con perforación)
San Juan Morros, Gu.	FMT	IED MIS
Táctata, Mi.	-	EA
Trincheras, Ca.	FMT	adecuado MIS
Mariara, Ca.	lavado	- MIS
El Castaño, Ar.	EA	adecuado FMT y EA
Hda. Chupadero, Ar.	local	- FMT (con perforacion)
Guarumen, Gu.	-	abandonado FMT y EA
Calabozo, Gu.	-	EA
Sta. Ana, Guanare, Po.	local	- FMT
Meachiche, Fa.	local	- FMT y EA
Guadalupe, Fa.	-	EA
Agua Viva, Tr.	local	- FMT
El Baño, Motatán, Tr.	FMT, EA	adecuado MIS (en el hotel)
Ejido, Me.	local	- FMT
Tabay, Me.	-	FMT
Caño Zancudo, Me.	-	FMT
Santa Apolonia, Me.	FMT	IED MIS
La Grita, Me.	FMT	IED MIS
Ureña, Ta.	FMT	IED MIS

FMT = aplicación para fines médico-turísticos, actual o propuesto.

IED = instalaciones existentes deficientes.

MIS = mejorar las instalaciones y servicios existentes.

EA = uso para el embotellamiento de agua.

- = sin uso o sin instalaciones.

local= uso muy restringido usualmente a los vecinos.

Localidades con Letras cursivas, corresponden a los mejores y mas conocidos establecimientos termales para fines médico-turísticos.

## 6. RECOMENDACIONES.

1) Continuar el *Inventario Geotérmico Nacional*, en la región occidental del país y con el mismo esquema utilizado con éxito en las regiones oriental y central.

2) En la continuación de los estudios de factibilidad para la posible generación de energía eléctrica en la zona de Las Minas-Aguas Calientes y Mundo Nuevo, Sucre, se considera que con la información disponible, hay suficiente base y las perspectivas son bastante buenas como para proceder a la perforación de uno o mas pozos geotérmicos exploratorios. Se considera que la realización de estudios geológicos, geoquímicos o geofísicos adicionales no aportarán nada nuevo, significativamente relevante, que permita cambiar esta interpretación. En la fig. 150 se propone la localización que se considera mas apropiada para la primera perforación en la zona de Las Minas, y en la fig. 151 se presenta la ubicación de una posible perforación en la zona de Mundo Nuevo, esta última menos prioritaria.

Para la ubicación propuesta de la perforación en el área de Las Minas, se utilizó el criterio de tratar de llegar a la parte central y mas caliente del sistema, según el modelo geotérmico previamente establecido, así como consideraciones de facil acceso. En el caso de Mundo Nuevo, con la información existente ésta zona presenta una actividad geotérmica menor que en Las Minas, por lo tanto es menos prioritaria, pero de hacer una perforación, se considera que la mejor opción es perforar en el centro de la zona dominada por vapor.

Si existieran los recursos necesarios, quizás el único estudio adicional que se puede recomendar en la región de Las Minas - Aguas Calientes - Mundo Nuevo, sería una serie adicional de muestreo de todas la manifestaciones geotérmicas, ya inventariadas por HEVIA y DI GIANNI (1983), en periodo de plena sequía, incluyendo el muestreo de aguas y gases. Esta información pudiera mejorar los estimados de temperaturas de los reservorios, pero no debería cambiar significativamente el modelo propuesto.

3) Realizar estudios adicionales en las siguientes areas:

a) Fuentes de No Carlos, Tunapuy, Sucre. Estudio en epoca de sequía de todos los brotes frios o calientes, para definir mejor el modelo de mezcla.

b) Estudio de las variaciones estacionales de los manantiales del norte de la cuenca del lago de Valencia: Las Trincheras, Mariara y El Castaño, esto pudiera servir para establecer con mejor base los modelos geotérmicos.

c) Zona de los volcanes de Sanare y San Miguel, Lara. Esta es de mucho interés por ser la fumarola de mayor temperatura de toda Venezuela ( $115^{\circ}\text{C}$ ), desconociéndose las características del posible sistema geotérmico.

d) Estudio sistemático y detallado de todas las manifestaciones de la zona de Sabana de Monay y otras adyacentes del sistema de fallas de Valera (fig. 152). Esta zona resulta de mucho interés por las altas temperaturas de los manantiales, el estimado relativamente alto proporcionado por la escasa información disponible de geotermómetros, y la cobertura de rocas jóvenes que pudieran estar sellando acuíferos calientes no muy profundos.

e) Nueva serie de muestras en la zona de Gurumen, Guárico, incluyendo todos los manantiales frios y calientes de la zona, requiriendo análisis con métodos de mayor precisión debido a las bajas concentraciones de los iones.

f) Estudio detallado de los manantiales frios y calientes de la zona de Santa Ana de Los Baños de Guanare, Portuguesa, considerando que  $t(\text{alc})$  da los mas altos valores de toda la zona occidental.

g) Estudio detallado de las manifestaciones de la zona de Casigua, donde aparentemente hay manantiales con hasta  $96^{\circ}\text{C}$ . Esto pudiera ser representativo de reservorios profundos de gran temperatura, pero no se dispone de información de esta zona.

4) Propiciar la creación de una red de establecimientos para fines médico-turísticos, en las zonas señaladas en la tabla 50.

Fig. 150. Mapa de ubicación de las manifestaciones geotérmicas del área de Las Minas - Aguas Calientes, con la ubicación propuesta para un pozo exploratorio.

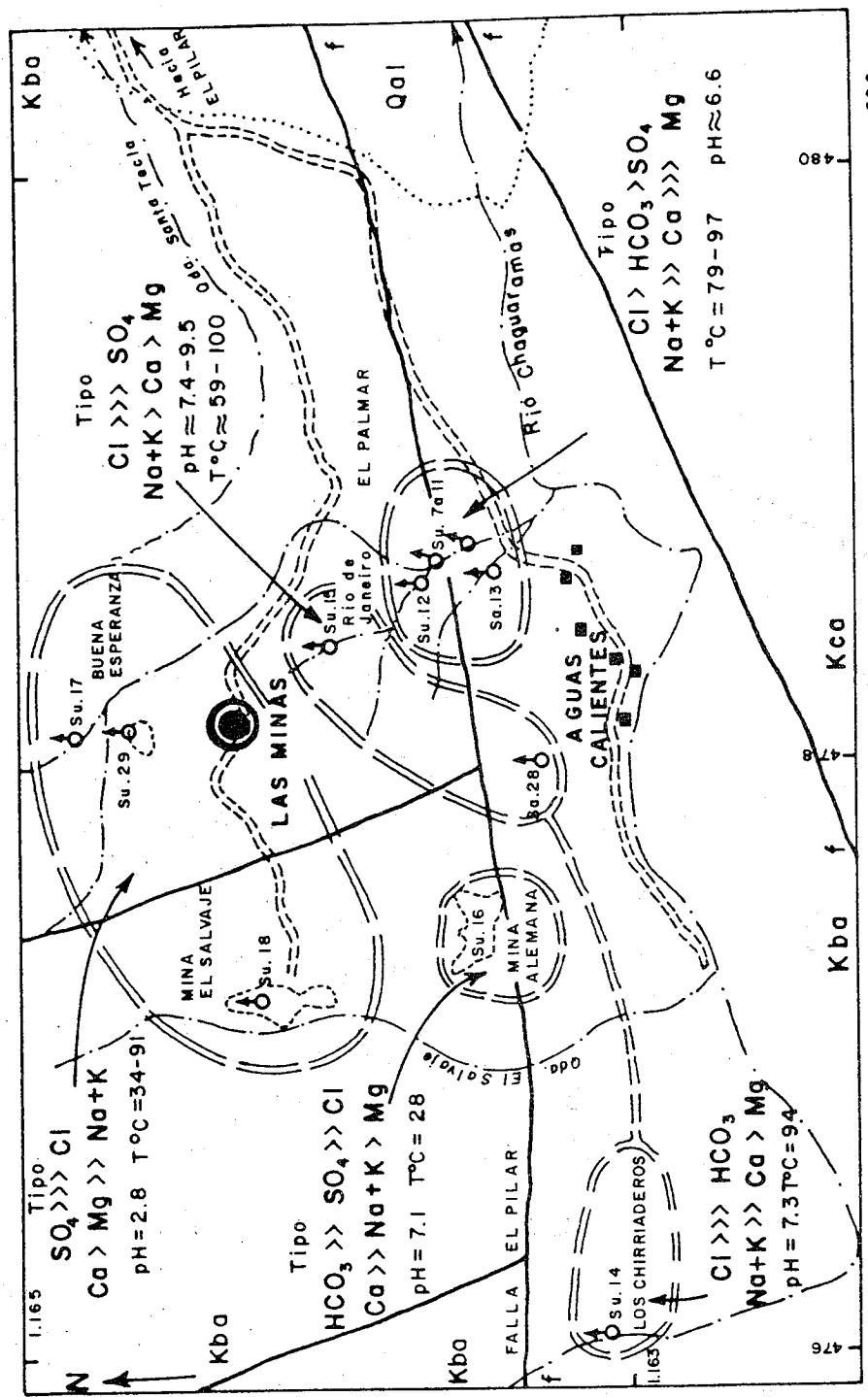
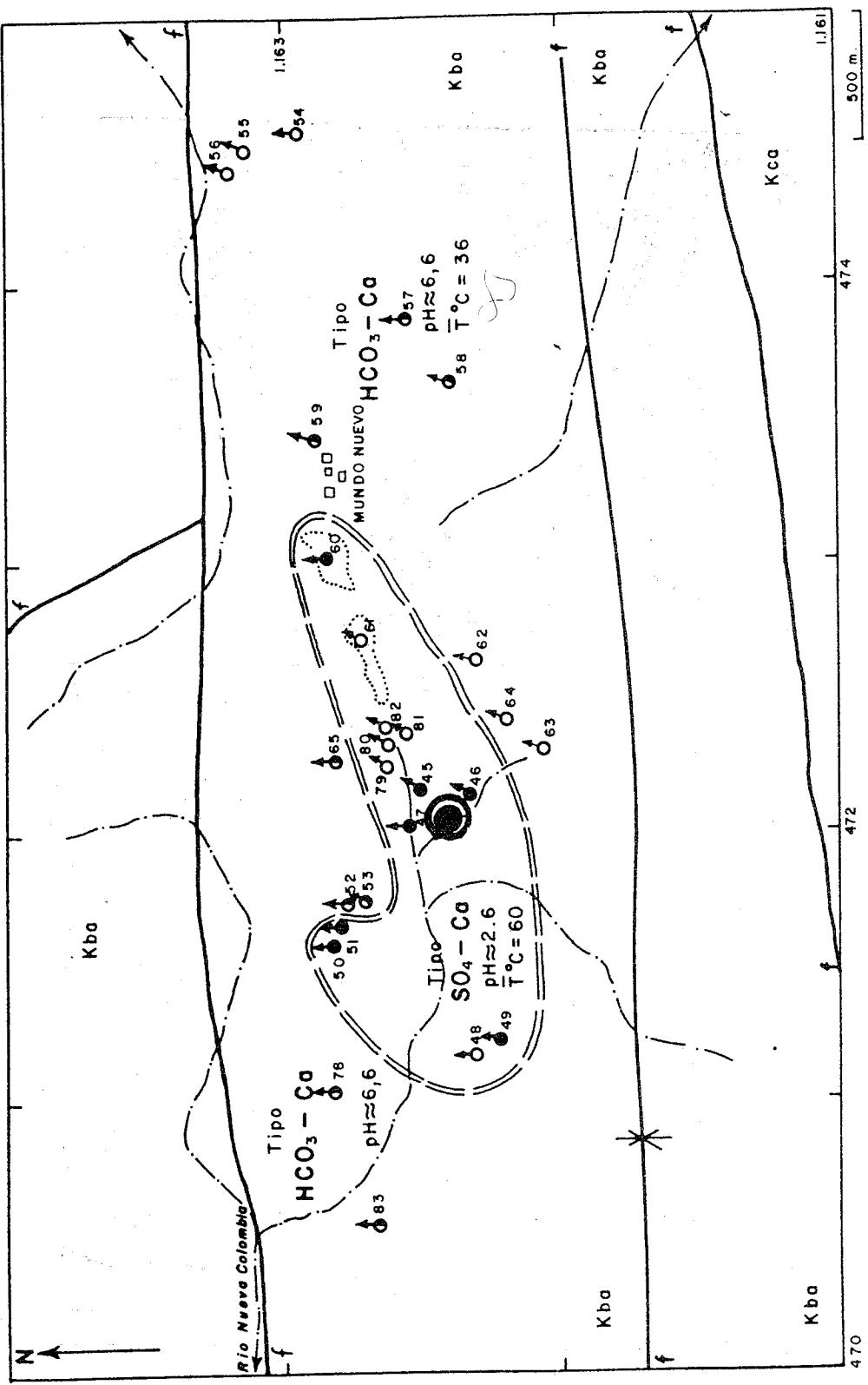


Fig. 151. Mapa de ubicación de las manifestaciones geotérmicas del área de Mundo Nuevo.  
Con la ubicación propuesta para un pozo exploratorio.



## BIBLIOGRAFIA

### Agradecimientos

A Emilio Alvarez, Nieves Di Gianni, Arelis Fermín, Alberto Hevia, Noel Mariño, José Antonio Rodríguez, Rocío Sanabria y Gladys Zannín, que a través de sus Trabajos Especiales de Grado, y en labores propias del Centro de Documentación e Información Geotérmica Nacional, permitieran la acumulación de suficientes datos que sirvieron de base para elaborar este informe.

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (proyecto I-06.2/80), CONICIT (Proyecto S1-1168), FONINVES (Proyecto A-84), que financiaron diversas etapas del presente trabajo.

A la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V., y en especial a su Director, Dr. Enrique Navarro, por su apoyo en múltiples facetas de esta investigación.

Al Prof. Franklin Yoris, por sus constantes discusiones e interés por este tema.

A los doctores Vírgil Winkler, Carlos Schubert, Andrés Singer y Jorge Alvarado, por la información suministrada que contribuyó a enriquecer esta obra.

Al Dr. J. P. Soulás (FUNVISIS) por negarse a facilitarme una copia de su Mapa Neotectónico de Venezuela (1:2.000.000), lo cual me motivó a elaborar el Mapa Geotérmico de Venezuela a escala 1:500.000.

Al personal de los laboratorios de aguas, del INOS (La Mariposa y Valencia), MARNR (Cagua), Dept. Ing. Sanitaria, U.C.V., por los centenares de análisis físico-químicos de aguas termales.

Al personal del Centro de Procesamiento de Datos, y de la Sala de Dibujo, de la Facultad de Ingeniería, U.C.V., por su apoyo en estas indispensables actividades.

A la Gerencia de Geología, LAGOVEN S.A. y a la Gerencia de Exploración, MARAVEN S.A., por la información suministrada.

A las numerosas personas e instituciones, que en una u otra forma colaboraron en diversas fases del presente trabajo.

ANONIMO. 1958. Nature may yield power. *Chez. Eng. News*, 36(13): 104.

ALVARADO, J. 1983. Influencia de las aguas termales en la calidad de las aguas subterráneas en la región de San Antonio del Táchira - Ureña. (resumen). *Symposium de Neotectónica, Convención Anual de AsoVAC, Caracas, noviembre de 1983. U.C.V.*

-----; D. MATOS y A. SANCHEZ. 1983. Diagnóstico de la región de San Antonio del Táchira - Ureña, estado Táchira. M.A.R.H.R., División de Hidrogeología, Serie Informe Técnico DGSIIA/IT/121, 42 p.

ALVARADO, Lisandro. 1981. Las Caldas de "Los Baños" (Estado Portuguesa). *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 3: 51. [Reimpreso de la Revista Técnica del Ministerio de Obras Públicas, 1 (12): 595-596, 1911].

A.P.H.A. - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1976. Standard methods for the examination of water and wastewater. 14th. ed., 1193 p.

APPLEGATE, A. V. 1954. Geology of the tri-state area of Zulia, Falcon and Lara. *LAGOVEN S.A., informe inédito*, Archivo de Geología, 4840.11-11.

ARGABRITE, W. G. 1921. Report on Los Baños Area, State of Trujillo. *LAGOVEN S.A., Gerencia de Geología, informe inédito*, 4700.10-2.

ARNORSSON, S. y E. GUNNLAUGSSON. 1983. The Chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geoch. Cosm. Acta*, 47:567-577

AROCHA, J. I. 1897. *Estadística natural del estado Zulia presentada al ejecutivo del estado por el director de estadística J.I. Arocha*. Imprenta Americana, Maracaibo. 442 p.

----- 1949. *Diccionario geográfico, estadístico e histórico del estado Zulia*. Maracaibo.

AUDEMARD, F. y C. SIMON. 1981. Geología de una zona al sur de Urumaco. U.C.V., Dept. Geología, Laboratorio de Geología de Campo, inédito.

BACK, W. 1966. Hydrology of aquifer systems-hydrochemical facies and ground-water flow patterns in Northern part of Atlantic Coast plain. U.S.G.S. Prof. Paper 498-A, 42 p.

BARNES, I.; W. P. IRWIN y D. E. WHITE. 1978. Global distribution of carbon dioxide discharges and major zones of sismicity. U.S. Geological Survey. Water Res. Invest. 78-39 (Open File Report), 12 p., 1 mapa.

----- y F. URBANI. 1982. Análisis químico de gases y de 18 O de aguas de algunas manifestaciones geotérmicas del oriente del país. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 8: 8.

BECK, R. H. 1951. San Luis Range. State of Falcón. Geological Map. MARAVEN S.A., Mapa geológico escala 1:50000.

BENJAMIN, T.; R. CHARLES y R. VIDALE. 1983. Thermodynamic parameters and experimental data for the Na-K-Ca geothermometer. *Jour. Volc. Geother. Res.*, 15: 167-186.

BRICENO MAAZ, T. 1960. Aguas termales de Ureña. *Gaceta Médica de Caracas*, 68(1-3): 71-78.

----- 1962. Aguas minero - medicinales del estado Anzoátegui. *Revista del Colegio Médico del estado Anzoátegui*, 20(6): 15-55.

BROOK, C. A.; R. H. MARINER; D. R. MABEY; J. R. SWANSON; M. GUFFANTI y L.J.P. MUFFLER. 1979. Hydrothermal convection systems with reservoirs temperatures > 90 °C. En L.J.P. MUFFLER (Ed.) *Assessment of Geothermal resources of the United States of America* - 1978. U.S. Geological Survey Circular 790: 18-85.

BROWN, E.; M. W. SKOUGSTAD y M. J. FISHMAN. 1974. Methods for collecting and analysis of water samples for dissolved minerals and gases. En: *Techniques of Water-Resources Investigations of the U.S.G.S.*, book 5, Lab. Analysis, Chapter A1: 1-160.

BUENO, E. 1979. Cuenca del Lago de Valencia. Análisis Hidrogeológico e Hidroquímico. M.A.R.H.R., Dir. Hidrología, Series inf. tecn. D&IIA/IT/28. Inédito.

----- 1980. Reconocimiento de áreas submarinas al este de Puerto La Cruz en busca de manantiales de agua dulce (proyecto Calypso no. 20). M.A.R.H.R., Dir. Hidrogeología, Inédito.

BURGUERA, J.L.; M. BURGUERA y M.S. SAMPOL de REYES. 1981. Descripción geológica y relación mineralógica de las fuentes termales del estado Mérida. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 3: 26-45.

ANDRESEN. 1982. Estudio preliminar sobre las fuentes de aguas termales del estado Táchira. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 8: 19-24.

----- 1983a. Aguas termales en el estado Mérida. U.L.A. Fac. Ciencias Forestales, 71 p. (*Geotermia*, 8: 25-36).

-----; Y. De VITA; R. ANDRESEN y O. ODREMAN. 1983b. Aguas termales del Estado Táchira. II. Fuente de Ureña. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 9: 1-9.

CADISH, J. 1969. Die mineralquellen der Schweiz. *Internat. geol. congr.*, 23e sess., 1968, vol. 18: 133-137.

CAMPOS, V. 1981. Une transversale de la chaîne Caraïbe et de la marge Vénézuélienne, dans le secteur de Carupano (Venezuela Oriental). Structure géologique et évolution géodynamique. *L'Université de Bretagne Occidentale, tesis Dr.3er. ciclo.*

-----, S. OSUNA y V. VIVAS. 1980. Geología del borde oriental del Frente de Montañas de la Serranía del Interior, estados Miranda, Guárico y Anzoátegui. *Bol. Geol.* (Caracas), 14(26): 137-196.

CARRILLO TRILLOS, G. 1973. *Manual, análisis y ensayos en aguas blancas y líquidos residuales*. Lab. Aguas, Dept. Ing. Sanitaria, Fac. Ing., U.C.V., 306 p.

CASTELLANO, E.; C. MORENO y C. VERGARA. 1982. Estudio preliminar de las fuentes termales del estado Trujillo. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 8: 16-18.

CASTRO, M. y L. ZAMORA. 1982. Geología petrolera del flanco norte de la subcuenca de Maturín, Venezuela ORIENTAL. Una síntesis. *LAGOVEN S.A., informe inédito*.

CENTENO GRAU, M. 1982. Estudios Sismológicos (Resumen). *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 7: 73-93. [Edición original de 1940].

CHAPMAN, J. J. 1950. Geology of the Casanay - El Pilar region of central Sucre. *LAGOVEN S.A., informe inédito*, Archivo Geología, 3400.11-1, 19 p.

CHRISTENSEN, R. M. 1961. Geology of the Paria - Araya Peninsula, Northeastern Venezuela. *Univ. of Nebraska, Dept. Geol., Ph.D. thesis*. (Disponible en el Archivo de Geología de LAGOVEN S.A.).

CODAZZI, A. 1960. *Resumen de la geografía de Venezuela*. Ministerio de Educación, Obras escogidas de A. Codazzi, vol. 1. [Ed. original 1841].

- COMITE NACIONAL GEOTERMICO. 1981. Evaluación del potencial Geotérmico Nacional, Provincia geotérmica norte-oriental. *Geotermia* (U.C.V.), 3:1-25.
- CONDE JAHN, F. y T. BRICENO MAAZ. 1961. Breve informe sobre las aguas termominerales de Venezuela. *Gaceta Médica de Caracas*, 70 (4-6): 242-251.
- CORTES, C. E. 1979. Estudio geológico de una zona ubicada al oeste de Pecaya, Distrito Bolívar, Estado Falcón. *Informe final de geología del campo*, U.C.V., Dept. Geología, inédito, 107 p.
- D'AMORE, F. y G. SCANDIFFIO. 1981. Principali risultati dello studio geoquímico dell'area Sabatina, Lazio. *Atti del II Seminario informativo dell'Unità di Ricerca di Geotermia del C.N.R., "Energia Geotermica: Prospettive aperte dell'Ricerca del C.N.R."*, Roma, p. 36-48. PEG editrice.
- DE BELLARD, E. 1983. Formaciones volcánicas y pseudo volcánicas de Venezuela. *Bol. S.V.C.N.*, 141: 167-183.
- DELGADO, I. 1976. Estudio litoestratigráfico y estructural de la zona Río Casanay - Mundo Nuevo, estado Sucre, Venezuela. U.C.V., Dep. Geología, Trabajo Especial de Grado, inédito, 391 p.
- DELGADO - ONTIVEROS, C. J. 1927. *Aguas minerales de Venezuela*. Caracas. 63 p.
- DIAZ, M. V. 1873a. Aguas de la quebrada de Güeime, cerca de Guarenas. *Memoria de la Dirección General de Estadística*, Caracas, p. 187-188.
- 1873b. Aguas de la quebrada Cloris, cerca de Guarenas. *Ibidem*, p. 188.
- DIAZ - LUCART, O. 1971. Análisis químico y físico de las aguas termales del estado Sucre. U.D.O., Dept. Química, trabajo de ascenso, 79 p.
- DI CROCE, J. y F. URBANI. 1982. Observaciones sobre los manantiales de la zona de la estructura de la Vela, estado Falcón (Resumen). *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 8: 4.
- DOUDOLET, A. 1981. Estudio sobre las aguas termales. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 4: 5-28.
- ERNST, A. 1983. *La Exposición Nacional de Venezuela en 1883*. Fundación Venezolana para la salud y la educación, Caracas, *Obras completas de A. Ernst*, vols. 3 y 4. [Edición original: Ministerio de Fomento, Caracas. 2 vols., 1884].
- FEBRES - CORDERO, Gabriel. 1920. *Hidrología - Aguas minero medicinales de Venezuela*. Tip. El Lápiz, Mérida, 122 p.
- FERMIN, A. 1983. Inventario de las manifestaciones geotérmicas de la región central de Venezuela. U.C.V., Dept. Geología, trabajo especial de grado, inédito, 717 p.
- FOUILLAG, G. y J. MICHAUD. 1981. Sodium/Lithium ratio in water applied to geothermometry of geothermal reservoirs. *Geothermics*, 10(1): 55-77.
- FOURNIER, R. O. 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*, 5(1-4): 41-50.
- 1979. Geochemical and hydrologic considerations and the use of enthalpy-chlorine diagrams in the prediction of underground conditions in hot-springs systems. *Jour. Volc. Geotherm. Res.*, 5: 1-16.
- 1981. Application of water chemistry to geothermal exploration and reservoir engineering. En L. RYBACH & L. MUFFLER. *Geothermal systems, principles and case histories*. Wiley, p. 109-143.
- 1983. Program in Basic for a Tektronix 4051 to compute Na/K and Na-K-Ca geothermometers and Mg correction. U.S.G.S., Menlo Park, Calif., unpublished.
- y R. POTTER. 1979. Magnesium correction to the Na-K-Ca chemical geothermometer. *Geochem. Cosmochim. Acta*, 43: 1543-1550.
- y — 1982. A revised and expanded silica (quartz) geothermometer. *Geothermal Resources Council Bull.*, nov. 1982: 3-12.
- y J. J. ROWE. 1966. Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot springs and wet-steam wells. *American Journal of Science*, 264: 685-697.
- ; J. M. THOMPSON y C. F. AUSTIN. 1980. Interpretation of chemical analyses of water collected from two geothermal wells at Coso, California. *J. Geophys. Res.*, 85: 2405-2410.
- y A. H. TRUESDELL. 1973. An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochem. Cosmochim. Acta*, 37: 1255-1275.
- GAENSELEN, G. J. 1952. Progress Report on Western Trujillo and Southwestern Zulia. *LAGOVEN S.A.*, Inf. inédito, Archivo geología 4700.11-11.
- GALAN, A. y C. GALAN. 1982. La sima fumarola de Isla de Monos. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 7: 29-33.

- GASCOYNE, M. 1978. Hydrogeology and solution chemistry of North Venezuelan Karst. *Bol. Soc. Venezolana Espeleología*, 9 (17): 5-20.
- GIRAL, W. 1976. Estudio de la zona de la falla de El Pilar, situada entre Mundo Nuevo y El Pilar, estado Sucre, Venezuela. U.C.V., Dept. Geología, Trabajo Especial de Grado, inédito, 190 p.
- GONZALEZ, Diego. 1951. Informe preliminar sobre el viaje efectuado al estado Trujillo. M.E.M., Informe inédito, 553.43 G643.
- GONZALEZ DE JUANA, C. 1938. Croquis geológico entre El Baño y Motatán. U.C.V., mapa inédito, 1:10.000. (Original en el C.D.I.G.N.).
- 1948. Informe sobre las fuentes de agua de Siburúa, estado Falcón. M.E.M., Biblioteca J.P. Pérez A., informe inédito G28.1 V8 Gj y LAGOVEN S.A., Informe inédito, Archivo de Geología 4320.16-10.
- 1971. Guía de la excursión a la estructura de la Vela de Coro (Falcón). Mem. IV Congr. Geol. Venezolano, Bol. Geol., Public. Esp. 5, tomo I: 317-328.
- GRANDE, S. 1982. Geología de la zona de Las Trincheras - Vallecito (estado Carabobo). U.C.V., Dept. Geología, Trabajo Especial de Grado, inédito.
- HABICHT, K. 1960. La sección de El Baño, Serranía de Trujillo, estado Lara. Mem. III Congr. Geol. Venez., Bol. Geol., Public. Esp. 3, tomo I: 192-213.
- HALSE, G. W. y O. MENDEZ. 1976. Mapa de localización de menes y gas en el Delta Amacuro. LLANOEN S.A., mapa inédito.
- HAMZA, V. M. y S.M. ESTON. 1982. Propuesta para un levantamiento rápido de la densidad de distribución del flujo calórico en América del Sur. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 8:117-122.
- HEM, J. D. 1970. *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters*. 2nd. ed., U.S.G.S., Water Supply Paper 1473, 363 p.
- HEVIA, A. y N. DI GIANNI. 1983a. Inventario de las manifestaciones geotérmicas del estado Sucre. U.C.V., Dept. Geología, Trabajo Especial de Grado, inédito, 957 p.
- 1983b. *Ibidem*. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 11: 1-15. (Versión condensada presentada oralmente ante la Conferencia Internacional para el desarrollo de fuentes alternativas de generación de energía eléctrica, Caracas).
- HOBBES, P. y A. MORALES 1973. Manantiales del valle del Espíritu Santo. *Bol. Acad. Cien. Mat. Nat.*, Caracas, no. 99: 95-100.
- I.A.S.C. - INTERNATIONAL AERO SERVICE CORPORATION. 1971. Levantamiento de radar del Territorio Federal Amazonas: Interpretación geológica. M.O.P., CODESUR, informe f-5 (con 21 mapas a escala 1:250.000).
- KANCEV, I. 1977. Prospección geoquímica en los sedimentos del drenaje y de las fuentes termales de la región central del estado sucre. U.C.V., Instituto de Geoquímica, trabajo especial de grado, Lic. Química, inédito. (Prof. guía: F. Urbani).
- KARSTEN, Hermann. 1850. Beitrag zur kennhiss der gesteine des nordlichen Venezuela. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Berlin, 2: 345-361 (incluye el primer mapa geológico publicado de Venezuela, ubicando fuentes termales).
- KEENAN, J. H.; F. G. KEYES y P. G. HILL. 1969. *Steam tables (International metric units)*. Wiley, N.Y., 162 p.
- LAGOVEN S. A. 1981. Faja de diapirismo de barro Maturín - Pedernales. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 2: 19 (mapa a escala 1:500.000).
- LENA, P. 1979. Geología sedimentaria de una zona de los distritos Miranda y Democracia, estado Falcón, Venezuela. U.C.V., Dept. Geología, Trabajo Especial de Grado, inédito, 120 p.
- LEVITTE, D. y Y. ECKSTEIN. 1979. Correlation between the silica concentration and orifice temperature in the warm springs along the Jordan Dead sea rift valley. *Geothermics*, 7:1-8.
- LOPEZ, V. M.; J. C. DAVEY y J. V. SARRIA. 1943. Fuentes termales de Santa Ana de los Baños, Guanare. *Revista de Fomento* (Caracas), 5-6(53): 41-46.
- MACHELLARI, C. E. 1983. Late Cenozoic deposits of the Tachira depression and the tectonic evolution of the Southern Venezuelan Andes (Resumen). *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 8: 85-86.
- MARECHAL, A. 1976. *Geologie et geochemie es sources thermominerales du Camerun*. *Travaux et Doc. O.R.S.T.O.M.*, Paris, 59: 1-175.
- MARTINEZ, F. 1970. *Aguas termales de Venezuela*. U.L.A., Public. del Rectorado, Mérida, 182 p.
- MAXWELL, H. 1955. Location of Sulphur deposits examined, El Pilar. M.E.M., Bibliot. J.P. Perez A., informe inédito.

- MEDINA, L. M. 1979. Geología sedimentaria de una zona de los distritos Miranda y Democracia, estado Falcón, Venezuela. U.C.V., Dept. Geología, Trabajo Especial de Grado, inédito, 180 p.
- MENDOZA, J. 1978. Geología de la cuenca del río Chichiriviche, Distrito Federal. U.C.V., Dept. Geología, Trabajo Especial de Grado, inédito.
- METZ, H. L. 1964. Geology of the El Pilar fault, State of Sucre, Venezuela. Princeton University, Dept. Geology, Ph.D. thesis.
- 1965. Stratigraphy and geologic history of extreme northeastern serranía del interior. State of Sucre, Venezuela. IV Conf. Geol. Caribe, Trinidad, 1965, Memorias, p. 275-292.
- MICHARD, G. 1979. Geothermometres chimiques. Bull. B.R.G.M., Hydrogeologie, géologie de l'ingénieur, Deuxième série, sect. III, no. 2: 183-189.
- MIRANDA R., L. y F. GALAVIS S. 1949. Localización de un pozo de Agua en la Región de Meachiche, estado Falcón. LAGOVEN S.A., informe inédito, Archivo Geología, 4300.16-12
- M.M.H. - MINISTERIO DE MINAS E HIDROCARBUROS. 1972. Mapa hidrogeológico de Venezuela. Escala 1:500.000.
- 1976. Mapa geológico estructural de Venezuela. Escala 1:500.000, ediciones Foninvés.
- M.S.A.S. - MINISTERIO DE SANIDAD Y ASISTENCIA SOCIAL. 1970. Fuentes y balnearios termales de Venezuela. En F.A. MARTINEZ. Estudios de aguas termales y minerales de Venezuela. Talleres gráficos universitarios, U.L.A., Public. del Rectorado, Mérida, p. 121-125.
- MORGAN et al. 1969. Stiff diagrams of water quality data programed for the digital computer. Kansas Geol. Surv. Spec. Public. 43. (Programa adaptado por ACOSTA y otros, 1973, M.M.H., Div. Hidrogeología; URBANI F., 1983, U.C.V.).
- NECTARIO MARÍA hermano. 1938. Estudio descriptivo y geológico del llamado Volcán del humo entre Sanare y Cubiro (Estado Lara). M.E.M., Biblioteca J.P. Pérez A., Informe inédito, 551.21 V13 Nb.
- NINARD, B. 1970. Expertise des ressources thermo-minérales du Venezuela. Lab. Nationale, Min. de la Sante, Paris. Informe inédito presentado a la Corp. de Turismo de Venezuela.
- 1981. Centro termal de El Baño, informe preliminar. Geotermia (U.C.V., Caracas), 4: 1-4.
- O'DALY, J. A. 1891. Análisis químico, Canoabo. Boletín del Ministerio de Obras Públicas, Caracas, no. 50.
- OLCOTT, D.P. 1923. Geological map of the Tarra Anticline, District of Colon. LAGOVEN S.A., informe inédito, Archivo Geología, 4850.106-1.
- 1926. Development report on the Tarra and Rio de Oro fields. Ibidem.
- ONTIVEROS, C. J. 1927. Aguas minerales de Venezuela. Lit. y Tip. Vargas, Caracas, 63 p.
- OSTOS, O. E. 1938. Fuentes minero-medicinales de Venezuela. Tip. Especialidades, Caracas, 48 p.
- OSTOS R., M. 1981. Geología de una zona entre la autopista Caracas-La Guaira y el estribo Galindo, Parque Nacional El Ávila (distrito Federal). U.C.V., Dept. Geología, Trabajo de Ascenso, inédito.
- OTERO, A. G.; J. L. PRADO y C. N. GIMENEZ. 1939a. Fuentes termo-minerales de Venezuela. Cordillera de la Costa. Fuentes de Las Trincheras. Composición química y radioactividad. Revista de Fonento, Caracas, 2(12): 433-460.
- 1939b. Ibidem. Fuente de Aguas Calientes, estado Táchira. Ibidem, 2(14): 117-128.
- 1942. Ibidem. Cordillera de la Costa. San Juan de Los Morros. Agua, gas y lodo. Su composición química y su radioactividad. Ibidem, 4(44): 3-19.
- PACES, T. 1975. A systematic deviation from the Na-K-Ca geothermometer below 75 °C and above 10-4 atm. P(CO<sub>2</sub>). Geoch. Cosm. Acta, 39: 541-544.
- PATRICK, H. B. 1958. Geology of the Cariaco Basin. LAGOVEN S.A., informe inédito, Archivo de Geología, no. 2000.11-2.
- PANTIN, J.H. 1952. Geology of Northern Monagas and part of Sucre. LAGOVEN S.A., Archivo de Geología, informe inédito.
- PAULIN, Ch. 1983. Reconnaissance géologique et hidrogeologique du site d'El Ipure, Cumaná. Geotermia (U.C.V., Caracas), 8: 93-96.
- PIERCE, G. R. 1954. Geology of the Barinas Basin, Venezuela. LAGOVEN S.A., informe inédito, archivo geología 4000.11-3, 4 vols.
- PEIRSON, A. L. 1965. Geology of North Central Venezuela. LAGOVEN S.A., informe inédito 3000.11.5, 5 vols.

- PEREZ, O. y Y. P. AGGARWAL. 1983. Tectónica actual de la región nororiental de Venezuela. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 8: 37-50.
- PRESSER, T. S. y I. BARNES. 1974. Special techniques for determining chemical properties of geothermal water. *U.S.G.S. Water Resources Investigations* 22-74, 11 p.
- P.C.V.P. - PRIMER CONGRESO VENEZONALO DEL PETROLEO. 1963. *Aspectos de la industria petrolera en Venezuela*. Caracas, 563 p. (p. 46-49: campo Tarra-Los Manueles).
- QUINTERO, M. I. 1977. Geología de la cuenca del río Caruao, Distrito Federal. U.C.V., Dept. Geología, Trabajo Especial de Grado, inédito.
- RAMIREZ, A. y F. URBANI. 1982. Características físico - químicas de las fuentes termominerales del río Mesia, Tácata, estado Miranda (Resumen). *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 8: 5.
- RAPPORTE, A. 1982. Fortran program to compute chemical geothermometers for geothermal fluids. *U.S.G.S. Open File Report 82-308*.
- RODRIGUEZ, J. A. 1983a. Inventario de las manifestaciones geotérmicas del estado Anzoátegui. Estudio preliminar. U.C.V., Dept. Geología, Trabajo especial de grado, inédito, 519 p.
- 1983b. *Ibidem*. Geotermia (U.C.V., Caracas), 11. (Trabajo presentado oralmente ante la Conferencia Internacional para fuentes alternas de generación de electricidad, Caracas, dic. 1983).
- ROJAS, Arístides. 1981. Noticia sobre las aguas termales de Venezuela. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 2: 27-32. Edición original publicada en 1872, en *Almanaque para todos de Rojas Hermanos... para el año 1873*. Caracas.
- ROMCONSULT - ISLGC. 1982. Estudio de identificación y factibilidad para la valoración de las aguas termales y minerales de El Pilar, Naricual, Clarines y Morros de Caripito, Venezuela. Informe preliminar. *Geotermia* (U.C.V.) 5:1-68.
- ROYO Y GOMEZ, J. 1960. Características paleontológicas y geológicas del yacimiento de vertebrados fósiles de Muaco, Estado Falcón, con industria lítica humana. *III Congr. Geol. Venezolano, Memoria, Bol. Geol. Public. Esp. 3, II*: 501-505.
- SACHS, C. 1955. *De los Llanos*. Edime, Madrid, 290 p. [Edición original 1879].

- SANDOVAL, D. N.; P. K. KURODA y J. AKRIDGE. 1982. Urano, Radón y productos de Torón (Pb-210, Pb-212, Po-210) en material de deposición de las aguas termales de "El Corozo", Táchira, Venezuela. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 8: 51-54.
- SANTAMARIA, F. 1966. Prospección geoquímica, estudios mineralógicos y ensayos sobre extracción de azufre a partir del mineral del yacimiento de "El Salvaje" ubicado en la región de El Pilar, estado Sucre. M.E.M., Bibl. J.P. Pérez A., informe inédito U-155.
- SCHAUB, H. P. 1943. Geological report on the Northern foothills of the Andes (States of Merida and Trujillo). MARAVEN S.A., informe inédito, Exp. Rep. 401 (con mapas geológicos a escala 1:25.000).
- SCHUBERT, C. 1981. Información sobre diversas manifestaciones geotérmicas: La Mitisus, Mérida. *Geotermia* (U.C.V.), 2: 1.
- 1982. Neotectonics of Boconó fault, western Venezuela. *Tectonophysics*, 85: 205-220.
- y R. SIFONTES. 1984. La riolita Plioceno tardía de Carúpano. *Acta Científica Venezolana*, en prensa.
- SEELKOPF, C. 1955. Aguas minero-medicinales en el estado Mérida. *Universitas Emeritensis* (Mérida), 2(2): 67-93.
- SPANGLER, W. B. 1954. Oil and gas seeps of eastern Venezuela LAGOVEN S.A., Informe 3000.119-1, 36 p.
- TAYLOR, G. C. 1960. Geología de la Isla de Margarita, Venezuela. *Mem. Tercer Congreso Geol. Venez., Bol. Geol. Public. Esp. 3, tomo II*: 838-893.
- TENU, A.; T. CONSTANTINESCU; F. DAVIDESCU; S. NUTI; P. NOTO y P. SQUARCI. 1981. Research on the thermal waters of the western plain of Romania. *Geothermics*, 10(1): 1-28.
- TOMALIN, W. G. C. 1938. Geological report on the Monay Basin. MARAVEN S.A., informe inédito, Exp. Rep. 605 (mapas esc. 1:25000).
- TONANI, F. 1970. Geochemical methods of exploration for geothermal energy. *Geothermics, Special Issue 2, vol. 2, pt. 1*: 492-515.
- TRUESDELL, A. H. 1976a. Summary of section III, geochemical techniques in exploration. *Proc. 2nd. U.N. Symp. Dev. Use Geothermal Resources, San Francisco, USA, Vol. 1*: liii - lxxix.
- 1976b. GEOTHERM a geothermometric computer program for hot-spring systems. *Ibidem*, p. 831-836.

- y R. O. FOURNIER. 1976. Calculation of deep temperatures in geothermal systems from the chemistry of boiling springs water of mixed origin. *Ibidem.*, p.837-844.
- y — 1977. Procedure for estimating the temperature of a hot-water component in a mixed water using a plot of dissolved silica vs. enthalphy. *U.S.G.S. Journ. Res.*, 5: 49-52.
- UGUETO, G. 1983. Geología de la zona central de la Cordillera de la Costa, región de Mariara, estado Carabobo. U.C.V., Dep. Geología, Trabajo Especial de Grado, inédito.
- URBAIN, P. 1967. *Geoquímie et hydrogeologie des enveloppes aqueuses et des eaux thermominérales*. París, Libr. sci. tech. A. Blanchard, 115 p.
- URBANI, F. 1972. Geología del Granito de Guaremal y rocas asociadas, Estado Carabobo. *Mes. IV Congr. Geol. Venez., Bol. Geol., Public. Esp.* 5, tomo iv, p. 2340-2374.
- 1977a. Geoquímica de las aguas de la región de El Pilar -Casanay, estado Sucre. Informe de Avance no. 2. U.C.V., Dept. Geología, Informe inédito presentado a CADAFE, 2 vols., 523 p. (puede consultarse en la Biblioteca de la Escuela de Geología, U.C.V.).
- 1977b. *Ibidem.*, Informe Final. *Ibidem.*, 19 p., 5 mapas.
- 1977c. Geoquímica de las aguas termales del área de El Pilar - San Antonio del Golfo, Edo. Sucre. *V Congreso Geológico Venezolano, Memoria, Tomo III* [Reimpreso en *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 3: 52-54, 1981].
- 1978. Geología del Granito de Guaremal, Estado Carabobo.. U.C.V., Dept. Geología, Trabajo de Ascenso, 373 p.
- 1981a. Notas preliminares sobre algunas fuentes termales de la Cordillera de la Costa. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 1: 30-44. [Edición original 1969].
- 1981b. Guía para tomar información en manifestaciones geotérmicas. *Geotermia* (U.C.V.), 2: 2.
- 1981c. Fuentes termales en la Guayana Venezolana. *Geotermia* (Caracas), 3: 42-44.
- 1981d. Las fuentes termales de Chichiriviche, Distrito Federal. *Geos* (U.C.V., Caracas), 26: 61-65 [Reimpreso en *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 3: 55-57, 1981].
- 1981e. Manuel Landaeta Rosales (1847-1920), recopilador de información geotérmica. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 4: 29-35.
- 1981f. Un sencillo modelo de mezcla de aguas, Caso Batatal, estado Miranda. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 4: 37-40.
- 1981g. Jean Baptiste Boussingault (1802-1887) y las fuentes termales de Venezuela, Colombia y Ecuador. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 4: 47-67.
- 1982a. Las minas e azufre de El Pilar, estado Sucre vistas por Emilio Cortese en 1901. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 6: 45-56.
- 1982b. El "Volcán de Sanare" en las relaciones geográficas del año 1578. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 7: 28
- 1982c. Geotermómetros químicos en exploración geotérmica: revisión bibliográfica preliminar. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 8: 55-84.
- 1982d. Las fuentes termales en las obras de Agustín Codazzi (1793-1859). *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 8: 124-127.
- 1982e. Las fuentes termales en la obra de Leonard V. Dalton. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 8: 137-140.
- 1983. Ubicación y composición química de las aguas termales de Venezuela. *Geotermia* (Caracas), 10: 1-167
- y H. PEREZ-MARCELLI. 1983. Vicente Marcano y sus estudios de las aguas termales de Venezuela en 1874-1891. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 11. Resumen presentado previamente en I Jornadas Geotermicas de Venezuela, 32 Convención Anual AsoVAC, AsoVAC, *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 8: 4.
- VARGAS, José María. 1958. *Obras Completas*. Ed. Min. Educación, tomo IV. [Cartas cruzadas entre VARGAS y varias personalidades de su época referentes a las aguas termales de Batatal, Miranda]. [Edición original *Memorias de la Sociedad de Amigos del País*, Caracas, no. 22. 15 oct. 1834].
- VIERBUCHEN, R. 1978. The tectonics of NE Venezuela and the SE Caribbean Sea. *University of Princeton, Ph.D. thesis, inédito*.
- VIGNALI, M. 1977. Geology between Casanay and El Pilar (El Pilar fault zone), edo. Sucre, Venezuela. *VIII Conf. Geol. Caribe, Curaçao*, julio 1977, *Resúmenes*, p. 215.
- 1979. Estratigrafía y estructura de las cordilleras metamórficas de Venezuela Oriental (Península de Araya-Paria e isla de Margarita). *GEOS* (U.C.V., Caracas), 25-66.

VILLARROEL, M. 1976. *Aguas termales de Venezuela*. Corporación de Turismo de Venezuela, Ed. Arte, Caracas, 139 p. (aparece publicado sin autor).

W.J.E.C. - WEST JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC. 1982. Interim report on fact-finding survey of north east geothermal region in Venezuela. *Geotermia* (U.C.V., Caracas) 6: 27-30.

\_\_\_\_\_. 1982. Report on fact-finding survey of Cariaco - El Pilar geothermal region in Northeast Venezuela. Informe inédito presentado a la Dir. Electricidad, Carbón y Otras Energias, M.E.M.

WHITE, D.E. 1957a. Thermal waters of volcanic origin. *Geol. Soc. Amer.*, 68: 1637-1658.

\_\_\_\_\_. 1957b. Magmatic, connate and metamorphic waters. *Ibidem*, 68: 1659-1682.

\_\_\_\_\_. 1970. Geochemistry applied to the discovery, evaluation and exploitation of geothermal resources. *Geothermics, Special Issue 2*, vol. 1, p. 58-80.

\_\_\_\_\_; L. J. P. MUFLER y A. H. TRUESELL. 1971. Vapor-dominated hydrothermal systems compared with hot-water systems. *Economic Geology*, 66(1): 75-97.

WIEDENMAYER, KREY, ARGABRITE, ANDREAS, OLcott, HUBBARD y C.F. BOWEN. 1926. Geological and Development report on the Colon Development Company concessions, District of Colon, Zulia. *LAGOVEN S.A.*, informe inédito, Archivo de Geología, 4850.106-1.

WOLCOTT, P. P. 1954. Oil and gas seeps of western Venezuela. *LAGOVEN S.A.*, Informe 4000.119-2, 12 p., 18 lam.

WOOD, W. W. 1976. Guidelines for collection and field analysis of ground-water samples for selected unstable constituents. En: *Techniques of Water Resources Investigations of the U.S.G.S.*, Book 1: Collection of Water Data by direct measurements, chapter D2, 24 p.

ZANNIN, G. y N. MARINO. 1983. Estudio geológico y geotérmico preliminar de las fuentes termales, aguas sulfurosas y volcanismo sedimentario del estado Monagas y Territorio Federal Delta Amacuro. U.C.V., Dept. Geología, Trabajo Especial de Grado, inédito, 551 p.

\_\_\_\_\_. 1983. Inventario geotérmico del estado Monagas y del Territorio Federal Delta Amacuro. *Geotermia* (U.C.V., Caracas), 11: 16-21.

# GEOS

Es una publicación científica serial de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela.

Edición y distribución a cargo de:

Fundación GEOS  
Apartado 54.008  
Caracas 1053-A, Venezuela  
Teléfono/FAX: 58-2-662.78.45

GEOS aparece indexado en:

- Publicaciones seriales

- Geological Abstracts (Elsevier Science Publishers Ltd., Inglaterra).
- Bibliography and Index of Geology (American Geological Institute, Virginia, USA)
- Geographical Abstracts: Physical Geography and International Development Abstracts (Elsevier Geo Abstracts, Inglaterra).

- Bases de datos computarizados y/o CD-Rom

- Georef (Silver Platter Information Retrieval System, Mass., USA).
- Geobase (Elsevier Geo Abstracts, Inglaterra)

Edición Financiada por PDVSA y MARAVEN

Impreso en Junio de 1992  
en los Talleres de Impregráfica  
Teléfono 283.99.35, Caracas, Venezuela