



Fig. 6 Detalle de las laderas denudadas de la fotografía 1. Influencia estructural del patrón de foliación a la izquierda; inicio de incisión, a la derecha, por el efecto de arrastre de bloques en tránsito sobre la ladera.

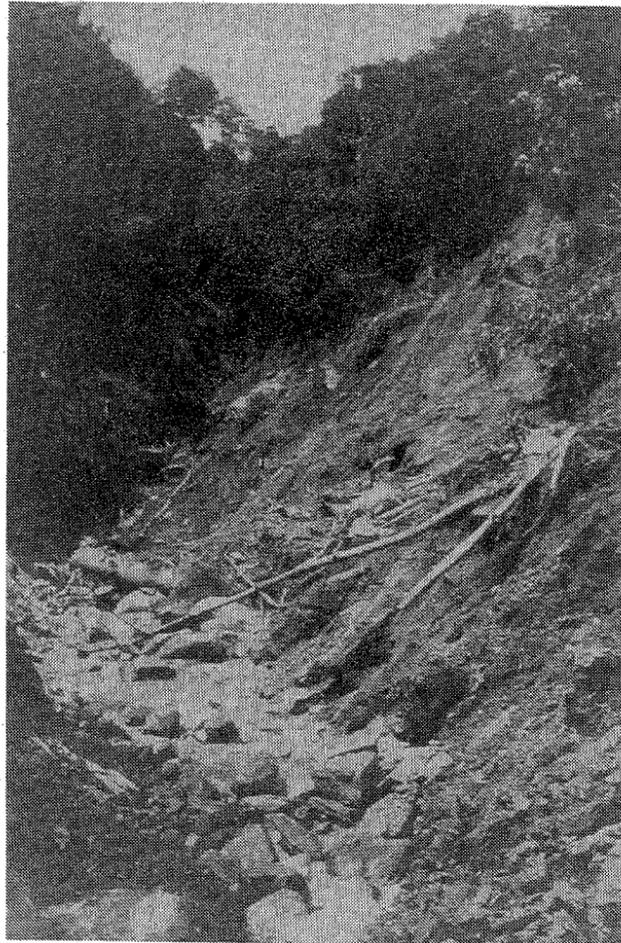


Fig. 7 Hinchamiento del flujo de avalancha encima del lecho de la Qda. Guamita.

**LAS MANIFESTACIONES GEOTERMALES DE VENEZUELA: UN RESUMEN.
 (GEOTHERMAL MANIFESTATIONS OF VENEZUELA: A SUMMARY).**

Franco Urbani. Dept. Geología, Fac. Ingeniería, Centro de Documentación e Información Geotérmica Nacional, Caracas 1051.

RESUMEN

Como parte del proyecto "Inventario Geotérmico Nacional", se ha recopilado una base de datos de 361 manifestaciones geotermales. La información ha sido interpretada, usando geotermómetros químicos y modelos de mezcla, y en muchos casos se han postulado modelos geotérmicos preliminares.

La evaluación de los sistemas geotermales con miras a la generación de energía eléctrica, sugiere como prometedor solo al sistema Las Minas-Aguas Calientes-Mundo Nuevo, al SW de El Pilar, estado Sucre, con posibles temperaturas del reservorio profundo en el orden de 300°C. La perforación exploratoria de este sistema es el único camino disponible para continuar su evaluación. Se postula que el alto flujo calórico de esta zona sea debido al enfriamiento de un cuerpo granítico joven, asociado a un proceso de subducción en el extremo SE de la placa del Caribe.

Otras áreas con altas temperaturas estimadas en el subsuelo son: Las Trincheras-Mariara, Carabobo; Monay, Trujillo; Guanare, Portuguesa y El Cubo-Tarra, Zulia, pero allí los estudios están en un bajo nivel requiriendo mucho trabajo detallado adicional.

INTRODUCCION

El naturalista alemán Alejandro de Humboldt fue el primero en publicar una descripción científica de una fuente termal venezolana: Las Trincheras con 90,3°C. En el último cuarto del siglo XIX Vicente Marcano realiza los primeros análisis químicos cuantitativos de varias fuentes termales. En la primera mitad de este siglo destacan los trabajos de E. Cortese, A. Jahn, G. Febres Cordero, O. Ostos, G. Delgado Palacios, V. M. López, A. Otero, L. Prado y T. Briceño-Maas.

En 1969 en la UCV, Dept. de Geología, se comienza con el estudio de las fuentes termales de la región central, continuándose en 1975 en la zona de El Pilar-Casanay, en donde se realizan estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos, concluyéndose en la importancia de la zona de Las Minas-Aguas Calientes-Mundo Nuevo. En 1981 se inicia el proyecto "Inventario Geotérmico Nacional", cubriéndose las regiones central, oriental y sur del país. Los resultados del inventario se encuentran en ZANIN & MARIÑO (1983), RODRIGUEZ (1983), FERMIN (1983) y HEVIA &

DI GIANNI (1984). Una evaluación de la información geotermal disponible hasta 1984 fue llevada a cabo por URBANI (1984), mostrando que el sistema potencialmente más prometedor para la generación de electricidad es el sistema de Las Minas-Aguas Calientes-Mundo Nuevo, estado Sucre, así mismo también hay otros sistemas promisorios, pero necesitan más estudios como son: Las Trincheras-Mariara, Carabobo; Monay, Trujillo; Guanare, Portuguesa y El Cubo-Tarra, Zulia.

Los análisis de las aguas se han procesado con el programa GEOTRV (URBANI, 1986) que calcula varios geotermómetros químicos (SiO_2 y cationes) y modelos de mezcla (modelo de mezcla de fuentes tibias -wsmm- y modelo de fuentes hirvientes -bsmm-). Estos datos permitieron producir modelos preliminares del funcionamiento de varios sistemas geotermales, estimando las temperaturas de los posibles reservorios que alimentan las fuentes. Más detalles sobre la metodología utilizada aparece en URBANI (1985a).

LOS SISTEMAS GEOTERMALES

La Tabla 1 presenta un resumen de la información de las principales fuentes termales del país, allí también aparecen los valores estimados para las temperaturas de los posibles reservorios que alimentan dichas fuentes. A continuación se hará un breve resumen de los principales sistemas geotermales:

Región occidental (Fig. 1-4).

El trabajo en esta región no tiene suficiente detalle como para permitir el uso confiable de los geotermómetros químicos. La mayor parte de las fuentes de la región están relacionadas de alguna manera a las principales zonas de fallas (Bocono, Valera, Caparo y Las Virtudes). Aun con esta información escasa hay varias zonas que merecen estudios detallados: (1) El Cubo-Tarra, Zulia, con temperaturas señaladas de hasta 96°C . (2) Los Baños de Santa Ana, Guanare, con estimados geotermométricos de 190°C . (3) Sabana de Monay, Trujillo, con fuentes de hasta 85°C y tQZ de 110°C . Recientemente se estudiaron los "Volcanes" de Sanare y San Miguel, Lara, encontrándose que estas manifestaciones no son fumarolas sino que se deben a la combustión subterránea de estratos carbonosos generando temperaturas superficiales del orden de $700-800^\circ\text{C}$ (URBANI *et al.*, 1987).

Cordillera de la Costa (Fig. 5)

Faja costera: En Chichiriviche y Caruao, se han estimado temperaturas (modelo de mezclas de fuentes tibias) de 165 y 155°C respectivamente. El alto contenido de Cl y Na probablemente sea debido a una mezcla profunda con agua marina.

Faja de los valles intramontanos: El principal sistema geotermal de esta región es Las Trincheras, donde con información de diversas épocas y estaciones, es posible estimar temperaturas del reservorio del orden de 200°C (geotermómetros de alcalies y modelo de mezcla). Así mismo en las fuentes de Mariara y El Castaño, se estiman temperaturas de 160 y 145°C . Estas altas

temperaturas y su cercanía a importantes centros urbanos los convierte en zonas propicias para futuros estudios.

Faja piemontina: En esta región hay varias fuentes tibias, donde la más importante es la de San Juan de los Morros. Pero aquellas donde se estiman las mayores temperaturas son las de Guarumen y Batatal (120° y 170°C respectivamente). Trabajo reciente de las empresas petroleras han descubierto una zona geopresurizada de gas y a 20 Km al este de Guarumen se ha medido una temperatura de fondo de pozo de 193°C a 2400 m de profundidad.

Macizo oriental (Fig. 6)

Región de Barcelona-Urica, Anzoátegui.

Las fuentes termales son tibias con una temperatura máxima de 52°C , y temperaturas estimadas de sus reservorios no mayores de 70°C . Esta zona tiene buenas perspectivas para instalaciones médico-turísticas.

Región del norte de Monagas.

Aquí hay muchas fuentes de bajas temperaturas con una máxima de 36°C y todas con fuerte olor a H_2S . Los geotermómetros químicos permiten estimados no mayores de 65°C , pero algunos gráficos de iones sugieren la posibilidad de mezcla con un componente profundo de alta temperatura, pero no hay suficiente información para evaluar confiablemente esta posibilidad.

Región de Cumaná - El Pilar.

Esta es la región con la mayor densidad de manifestaciones geotermales del país, con varias fuentes hirvientes (hasta 101°C), también hay zonas de alteración sin vegetación con fuentes sulfatadas-ácidas, fumarolas y depósitos de azufre. La mayor parte de las fuentes están alineadas a lo largo de la zona de fallas de El Pilar, y de oeste a este las temperaturas estimadas para los reservorios muestran la siguiente variación: Los Ipures (85°C), Cariaco (120°C), Las Minas (140°C), Las Minas-Aguas Calientes (300°C), No Carlos (150°C).

El sistema de Las Minas-Aguas Calientes es el más importante y complejo del país, con fuentes termales tibias e hirvientes y fumarolas. A una elevación mayor hay zonas de alteración con aguas sulfatadas-ácidas, y a baja altura las fuentes son de tipo Cl-Na, que creemos sea la composición del agua del reservorio profundo. Los geotermómetros de alcalies y modelo de mezcla de fuentes hirvientes sugieren dos niveles de reservorios, uno intermedio con temperaturas de 240°C y uno más profundo de aproximadamente 300°C . Utilizando modelos de enfriamiento del agua se estiman profundidades entre 1 y 2 Km para este último reservorio.

CONCLUSIONES

Para explicar el origen de las altas temperaturas superficiales (y/o de los reservorios) de los sistemas geotermales del país, se ha hecho un intento de generalización, según el cual hay solo tres casos diferentes:

Las Minas-Aguas Calientes-Mundo Nuevo, El Pilar, Sucre.

Esta es la zona de mas alta densidad de fuentes termales por unidad de area de todo el país, y en ella se ha estimado la mayor temperatura para el reservorio geotermal (cerca de 300°C). Varios factores tomados conjuntamente permiten explicar el alto flujo calórico y demas características: (1) En esta zona las fuentes están aproximadamente alineadas a lo largo de la zona de fallas de El Pilar, y cerca de Aguas Calientes ocurre una intersección con otros dos lineamientos muy extensos de rumbo NE-SW y NW-SE, ambos claramente visible en la imágenes de radar. (2) Las rocas expuestas en el área son de las formaciones Barranquín y El Cantil, ambas muy fracturadas facilitando el ascenso de las aguas calientes profundas y también permitiendo la recarga de los acuíferos. (3) De acuerdo con varios autores la zona de fallas de El Pilar es el límite de las placas de Sur América y Caribe, y a ese respecto SPEED (1985) sugiere un modelo de colisión oblicua que explicaría el movimiento transcurrente de la falla desde el oeste, hasta cerca de El Pilar donde estaría ubicado el "punto de sutura", así mismo, modelos sísmicos sugieren que la actual zona de subducción activa del arco de las Antillas, comienza a pocos kilómetros al NE de la zona. (4) La interpretación estructural de varios autores revelan la presencia de fallas de corrimiento con buzamiento norte. (5) A unos 6 Km al norte del sistema geotermal hay mas de 30 cuerpos pequeños de riolitas datados en 5 Ma K-Ar y son la evidencia mas meridional del volcanismo del arco Antillano. 6) El modelo gravimétrico de la región de Carúpano-El Pilar de VIERBUCHEN (1984) postula la existencia de un cuerpo granítico por debajo de la zona de afloramientos de riolitas. Nosotros hemos estimado su volumen en el orden de unos 300 Km³.

En base a la anterior información hemos postulado que el alto flujo calórico del área, de debe a la existencia de un cuerpo granítico intrusivo (no expuesto y no probado) en proceso de enfriamiento (URBANI, 1985b). Este cuerpo estaría localizado algunos kilómetros al norte del sistema geotermal.

Las temperaturas estimadas para los reservorios de varios sistemas geotermales localizados a lo largo del la zona de fallas de El Pilar, varían desde un máximo en Las Minas-Aguas Calientes (300°C), decreciendo rapidamente hacia el este (No Carlos, 150°C), y mucho mas lentamente hacia el oeste (140°, 120°, 85°C), también decrecen al sur (70°C). Estos resultados son consistentes con la distribución del flujo calórico que puede esperarse de la interpretación de SPEED (1985).

El sistema geotermal de Las Minas - Aguas Calientes es el único que conocemos de toda Venezuela, donde existe la posibilidad potencial de generar energía eléctrica con la tecnología existente, pero deben continuarse los estudios y para ello será necesario proceder a perforaciones exploratorias.

Guarumen y Batatal, región central.

Estos dos sistemas aislados con altas temperaturas estimadas para sus reservorios, están relacionados a una faja de campos de gas con alta presión de tendencia este-oeste, en donde se ha llegado a medir una temperatura de fondo de pozo de hasta 193°C

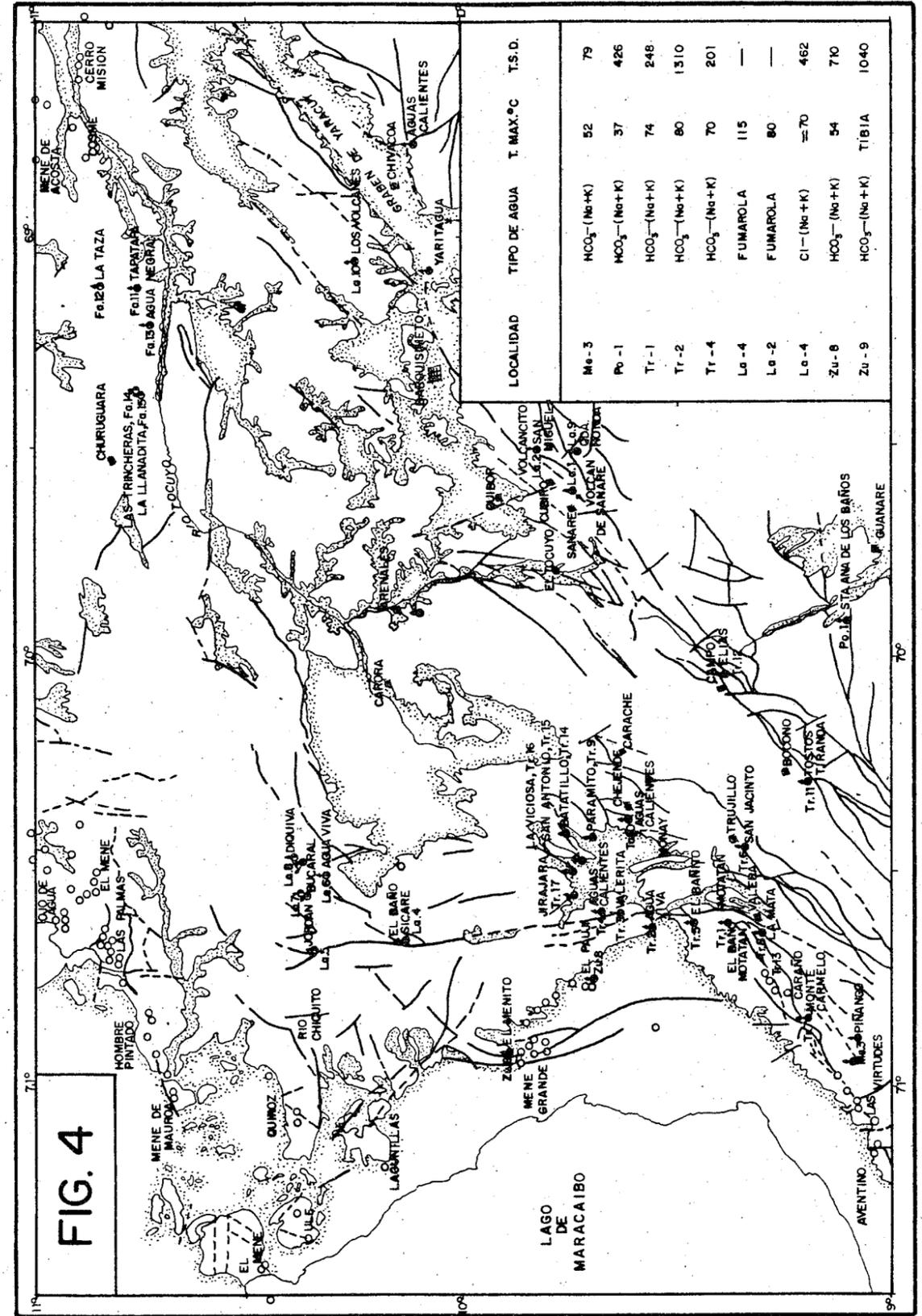
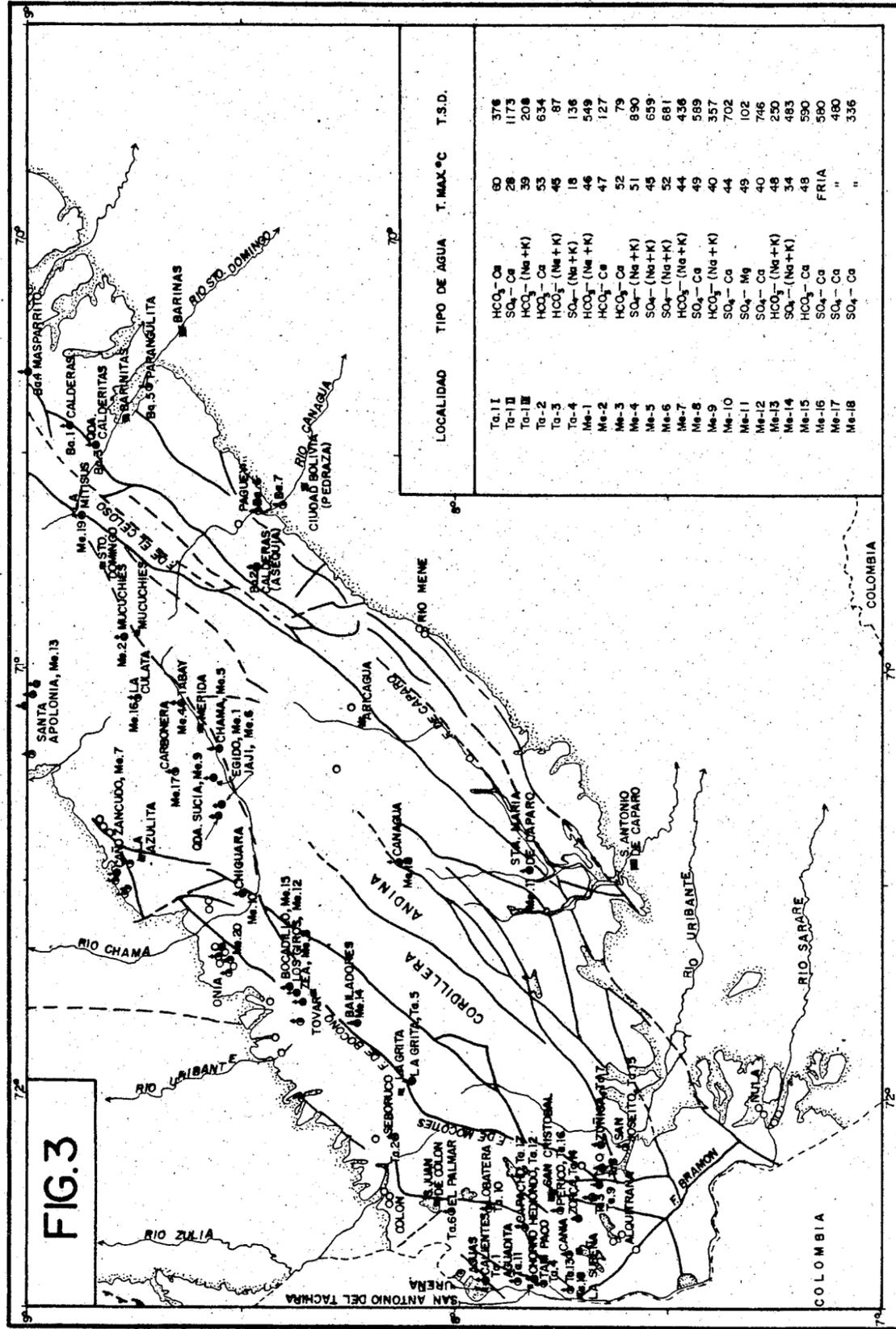
(2400 m). Postulamos que la compresión adiabática de estos campos de gas puede explicar las altas temperaturas, así mismo la gruesa cubierta de lutitas le imparten un efecto de sello, lo cual explicaría las escasas manifestaciones superficiales.

Otros sistemas geotermales.

Por ahora todos los demas sistemas geotermales del país, se interpretan como producidos por la circulación mas o menos profunda de aguas meteóricas. Estos sistemas usualmente están asociados con zonas de fallas mayores y muchas de ellas con actividad neotectónica.

BIBLIOGRAFIA

- FERMIN, A. (1983) *Inventario geotermal de la región central*. Geotermia (UCV, Caracas), Col. Libros no. 3, 717 p.
- HEVIA, A. & N. DI GIANNI (1984) *Inventario geotermal del estado Sucre*. Geotermia, Col. Libros no. 4, 957 p.
- RODRIGUEZ, J.A. (1983) *Inventario geotermal del estado Anzoátegui*. Geotermia, Col. Libros no. 3, 519 p.
- SPEED, R. C. (1985) Cenozoic collision of the Lesser Antilles arc and continental South America and the origin of El Pilar fault. *Tectonics*, 4(1): 41-70.
- URBANI, F. (1984) *Evaluación de los recursos geotermicos de Venezuela*. Geotermia, Col. Libros no. 5, vol. 1, 393 p.; vol. 2, 364 p.; vol. 3, 14 mapas.
- (1985a) Metodología para la evaluación de los recursos geotermales en la fase de reconocimiento. *Memorias VI Congreso Geológico Venezolano*, Caracas, 7: 4360-4399.
- (1985b) Evaluación preliminar de los recursos geotermales del estado Sucre. *Ibidem.*, 7: 4319-4359.
- (1986) GEOTRV computer program for geothermal exploration. *Energy Exploration and Exploitation*, 3(4): 317-318.
- , A. HEVIA, J. JAUREGUI, I. KANCEV y B. COLINA (1987) Los "Volcanes" de la zona de Sanare, Edo. Lara. *37a. Convención Anual AsoVAC, Capitulo Zuliano*, Libro de Resúmenes, p. 78.
- VIERBUCHEN, R. (1984) The geology of the El Pilar fault zone and adjacent areas in northeastern Venezuela. *Geol. Soc. America. Memoir* 162: 189-212.
- ZANNIN, G. & N. MARINO (1983) *Inventario geotermal del estado Monagas*. Geotermia, Col. Libros no. 1, 551 p.



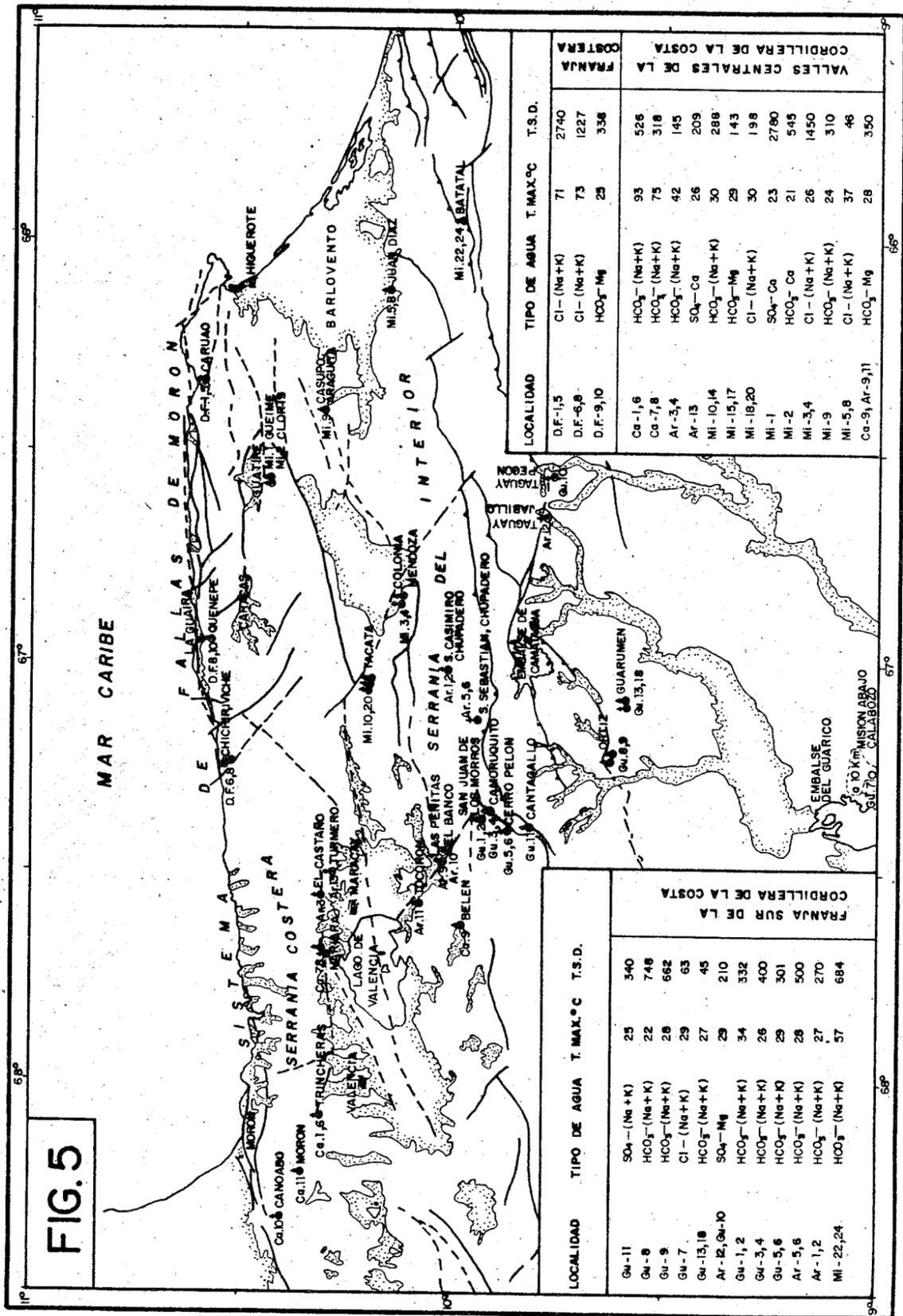


FIG. 5

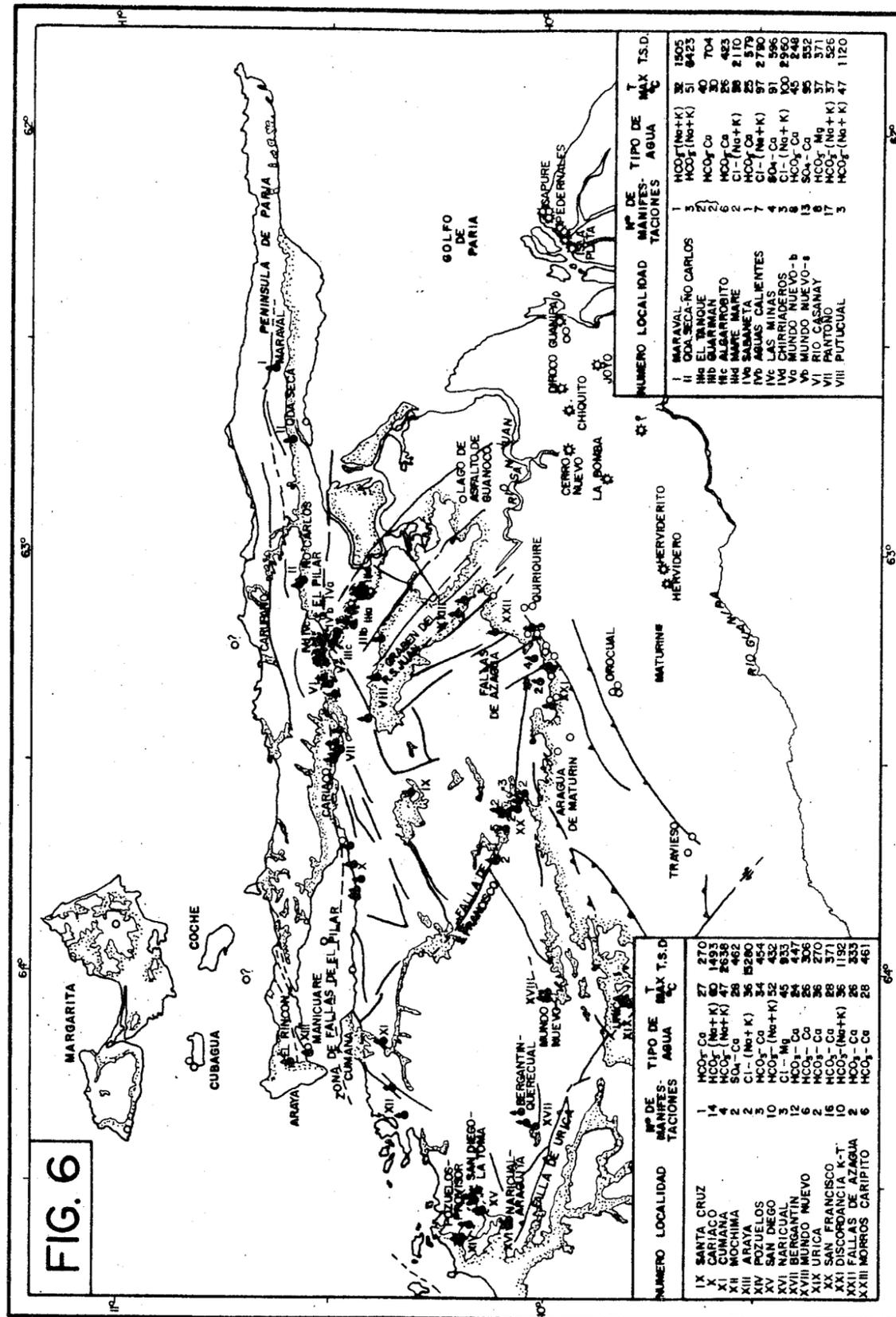


FIG. 6