

LA-10634-MS

c.4

Los Alamos National Laboratory is operated by the University of California for the United States Department of Energy under contract W-7405-ENG-36.



***Geology of the
Platanares Geothermal Site
Departamento de Copán,
Honduras, Central America***

Field Report

**Central American
Energy and Resource
Project**

Los Alamos Los Alamos National Laboratory
Los Alamos, New Mexico 87545

An Affirmative Action/Equal Opportunity Employer

This work was supported by the U.S. Agency for International Development.

DISCLAIMER

This report was prepared as an account of work sponsored by an agency of the United States Government. Neither the United States Government nor any agency thereof, nor any of their employees, makes any warranty, express or implied, or assumes any legal liability or responsibility for the accuracy, completeness, or usefulness of any information, apparatus, product, or process disclosed, or represents that its use would not infringe privately owned rights. Reference herein to any specific commercial product, process, or service by trade name, trademark, manufacturer, or otherwise, does not necessarily constitute or imply its endorsement, recommendation, or favoring by the United States Government or any agency thereof. The views and opinions of authors expressed herein do not necessarily state or reflect those of the United States Government or any agency thereof.

LA-10634-MS

UC-66a
Issued: May 1986

**Geology of the
Platanares Geothermal Site
Departamento de Copán,
Honduras, Central America**

Field Report

The Platanares Site Geology Team

G. Heiken
D. Eppler
K. Wohletz

W. Flores*
N. Ramos*

A. Ritchie**



*Empresa Nacional de Energía Eléctrica, Tegucigalpa, HONDURAS.

**Consultant at Los Alamos. College of Charleston, 66 George Street, Charleston, SC 29424.



Los Alamos Los Alamos National Laboratory
Los Alamos, New Mexico 87545

PLATES

- Plate 1. Geologic map of the Platanares geothermal site showing structural features and lithologic distribution.
- Plate 2. Geologic cross sections A-A', B-B', and C-C' in the area of Platanares. Refer to the geologic map (Plate 1) for the legend and location of cross-section lines.
- Plate 3. Map of hot springs in the Quebrada del Agua Caliente near Platanares.

EXECUTIVE SUMMARY

Investigation of the Platanares geothermal site is part of a joint Honduras (Empresa Nacional de Energía Eléctrica)/United States of America (Los Alamos National Laboratory and U.S. Geological Survey) assessment of the nationwide geothermal resource potential of Honduras. Geothermal resource evaluation is part of the Central American Energy Resources Project being sponsored by the U.S. Agency for International Development.

Platanares was selected as one of the initial sites for detailed study on the basis of previous geothermal reconnaissance work. The purpose of this study was to make a preliminary evaluation of the geothermal system to determine if further investigations, using geochemical and geophysical techniques, were needed to site an exploration well. When the well has been tested, Honduras will have the information it needs to make decisions on the use of this geothermal resource for electric power generation.

Platanares is a small mining village located about 16 km west of Santa Rosa de Copán in western Honduras. The geothermal site, which is situated on the west side of the Quebrada del Agua Caliente, has many hot springs flowing from numerous faults that cross the area.

All hot springs in this area lie along fractures that represent upward extensions of faults in the older rocks at depth, which provide the main conduit for thermal waters to rise to the bottom of the Quebrada del Agua Caliente. The total area over which these springs emanate is about 0.2 km^2 . Many of the springs in the area were found to be boiling. From the estimated flow rates of boiling water, we have calculated the thermal output to be between 0.7 and 1.0 MW. This conclusion was checked by measuring and comparing the stream temperature above and below the hot spring area. From this 16°C temperature difference, we conclude that there is a significant contribution to the thermal energy increase in the stream from submerged springs that emerge in the stream bed. Therefore, we are confident that the thermal energy input to the stream is several megawatts.

The results of the geologic studies indicate that Platanares' potential for development as an electrical power source is extremely good. This preliminary conclusion must be substantiated and refined through additional

studies. Geophysical investigations are needed to further define the subsurface geology and fracture system. Several wells should be drilled to a depth of several hundred meters to measure thermal gradients. This will allow calculation of the geothermal potential of the Platanares site and will indicate whether further development of the site is warranted.

GEOLOGY OF THE PLATANARES GEOTHERMAL SITE
DEPARTAMENTO DE COPÁN, HONDURAS, CENTRAL AMERICA

Field Report

by

The Platanares Site Geology Team

Los Alamos
National Laboratory

G. Heiken
D. Eppler
K. Wohletz

Empresa Nacional
de Energía Eléctrica

W. Flores
N. Ramos

College of
Charleston

A. Ritchie

ABSTRACT

Platanares is located 16 km west of Santa Rosa de Copán, Honduras, along the Quebrada del Agua Caliente. The thermal manifestations are along faults in tuffs, tuffaceous sedimentary rocks, and lavas of the Padre Miguel Group. These tuffs are silicified near the faults, are fractured, and may provide the fracture permeability necessary for the hydrothermal system. Tuffs are overlain by a wedge of terrace gravels up to 60 m thick. Quaternary conglomerates of the Quebrada del Agua Caliente are cemented by silica sinter.

The Platanares area contains numerous faults, all of which appear to be extensional. There are four groups of faults ($N80^{\circ}E$ to $N70^{\circ}W$, $N30^{\circ}$ to $60^{\circ}W$, $N40^{\circ}$ to $65^{\circ}E$, and $N00^{\circ}$ to $05^{\circ}W$). All hot springs at this site are located along faults that trend mostly northwest and north. Twenty-eight spring groups were described over an area of 0.2 km^2 ; half were boiling. Based on surface temperatures and flow rates, between 0.7 and 1.0 MW thermal energy is estimated for the area. The increased temperature of the stream flowing through the thermal area indicates that several megawatts of thermal energy are being added to the stream.

We recommend that a dipole-dipole resistivity line be run along the Quebrada del Agua Caliente to identify zones of fracture permeability associated with buried faults and hot water reservoirs within those fault zones. A thermal gradient corehole should be drilled at Platanares to test temperatures, lithologies, and permeability of the hydrothermal system.

I. INTRODUCTION

Platanares is a small mining village located about 16 km west of Santa Rosa de Copán, Honduras, on the west side of Quebrada del Agua Caliente (Plate 1, Fig. 1). The area is accessible by a flood-prone dirt road that winds northward from Cucuyagua along the Río Higuito for nearly 20 km. Numerous

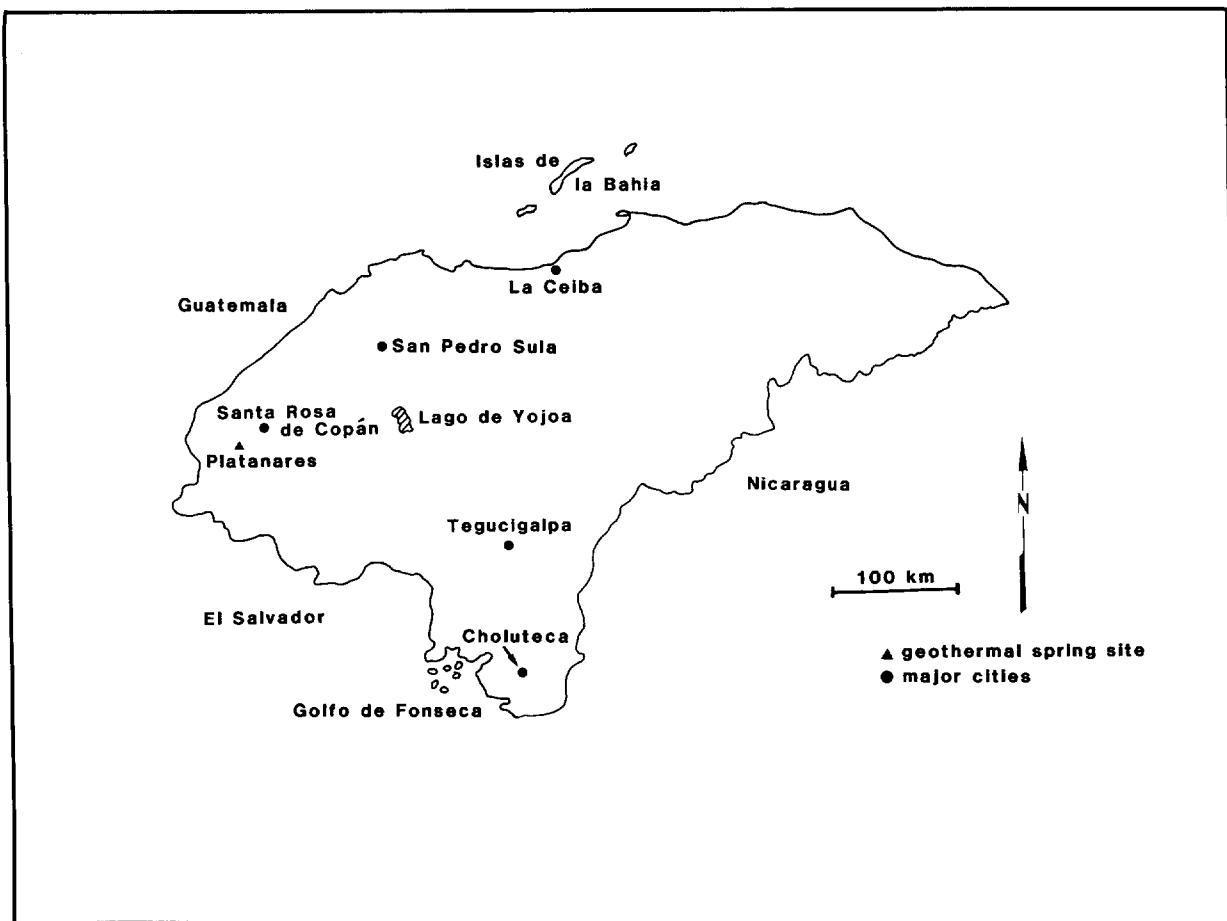


Figure 1. Location map of the Platanares geothermal site.

boiling springs and fumaroles issue from the stream banks for about 1.5 km along the quebrada adjacent to Platanares.

Geologic mapping of the Platanares area was completed during May 1985 with a detailed survey of the hot springs. The objective was to define structural and stratigraphic controls of the springs, to identify probable heat sources, and to make recommendations for further study by geophysical and borehole techniques.

Methods of study included both a regional survey of structural and stratigraphic relationships at a scale of 1:50 000 and a detailed outcrop description and mapping at a 1:10 000 scale over about 12 km² in the Platanares area. Previous studies and aerial photographs were used, and spring locations were surveyed using compass and tape measurements.

This report includes discussion of the previous work, discussion of our geologic findings with attention to developing a map and cross sections, description of the springs and their relationship to structure controls, consideration of the thermal budget of the hot springs, discussion of the origin of the hot springs, and recommendations for further work.

II. PREVIOUS WORK

The Platanares area is located in a little-studied region of western Honduras where terrain is dominated by thick sequences of the Tertiary Padre Miguel Group, which is composed of dominantly silicic tuffs (Williams and McBirney, 1969). Since these tuffs are poorly defined, stratigraphic markers have not been defined. However, Mesozoic sedimentary rocks and Paleozoic metamorphic rocks are exposed, giving the area some recognizable stratigraphic features with respect to the general geologic framework of Honduras, as described by Mills et al. (1967), Dupré (1970), and Finch (1981). The technical report by Eppler et al. (1986) on Honduran geothermal spring sites summarizes regional geological relationships, and work by Williams and McBirney (1969) covers useful generalities concerning tuffs of the Padre Miguel Group.

The Platanares area was first recognized for geothermal potential in a study done by GeothermEx (1980). Although a regional map of the area* shows

*This reconnaissance map of western Honduras was produced by the United Nations Development Project, 1971.

tuffs underlying the Platanares area, the map did not delineate detailed structural and stratigraphic relationships. Later mapping in the area by Flores (Annex V of G. Gislason, 1980) covered the Platanares prospect and showed several major faults trending northeast and northwest, with springs located mostly along the northwest-trending faults.

Rocks found in the area consist of Paleozoic schists; the Triassic El Plan Formation (black shale); Cretaceous Valle de Angeles red beds, conglomerates, and sandstones; and Tertiary volcanic rocks (silicic tuffs and andesitic lavas) that are hydrothermally altered and silicified near faults. Flores noted about 40 springs with temperatures ranging from 54°C to boiling and average flows near 1.5 l/s.

A recent geologic reconnaissance of Platanares by the Los Alamos/ENEE team showed the presence of silicified vertical fractures that cut nearly horizontally bedded tuffs. It was conjectured that this system allowed steam and hot water to flow into the Quebrada del Agua Caliente from bedding plane fractures. Hot water and steam rising along the vertical fracture system would move horizontally along bedding planes and fractures before issuing at the level of the local stream bed. Hence, as the stream eroded to deeper levels, springs would become inactive as they were left perched above the water table. Based upon these observations, portions of this study are directed at determining the stratigraphy of the volcanic rocks, investigating the permeability of these rocks, mapping of all fractures, and describing silicification.

III. STRATIGRAPHY

Paleozoic metamorphic rocks (phyllites and schists) and Mesozoic sedimentary rock units (El Plan Formation shales and Valle de Angeles Group red beds) (see Fig. 2) are exposed in the region north and west of the Platanares site but not in the quebradas nearby. These units most likely underlie the site at some depth, but we have only limited information as to the thickness of the overlying Padre Miguel Group rocks. In addition, one clast of dark gray, fractured, massive limestone was found in the Río Lara. This limestone may represent one of the thin limestones in the Upper Valle de Angeles Group or the older, much thicker Atima Limestone (Finch, 1981).

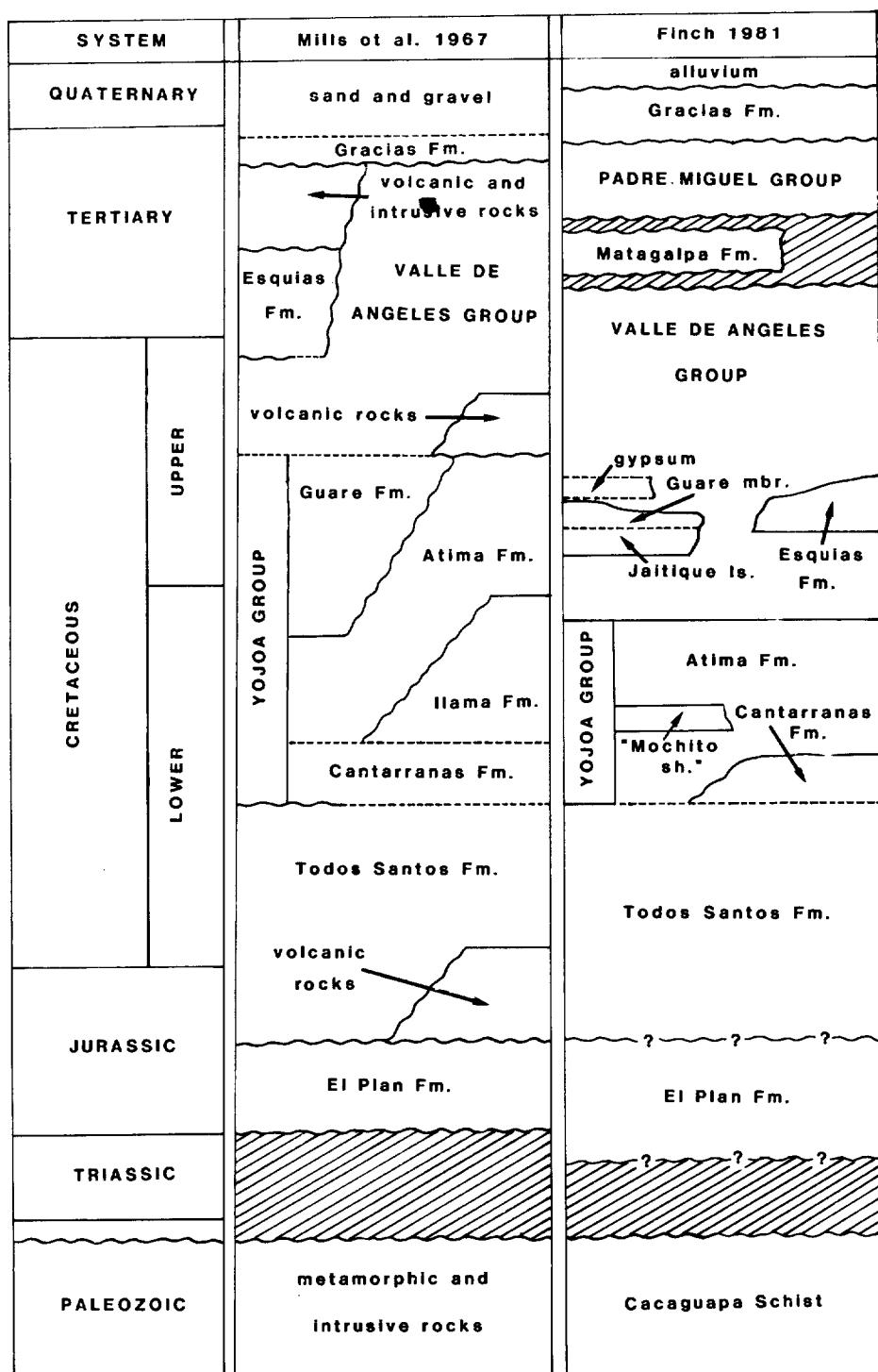


Figure 2. Stratigraphic column for central Honduras (after Mills et al., 1967, and Finch, 1981)

Because surficial exposures at the Platanares site are dominated by Padre Miguel Group rocks, lithologic descriptions given below concentrate on those rocks. Lithologic sequences and thicknesses of this unit can only be given as estimates; the sequence is crossed by numerous faults within the area, and no complete, undisturbed sections were observed.

The geologic map (Plate 1) shows distribution of rock types discussed below.

A. Tertiary Padre Miguel Group

The Padre Miguel Group is a sequence of volcanic rocks (mostly tuffs and tuffaceous sedimentary rocks) that crop out over much of southern and western Honduras and central and southern Guatemala, which are estimated by Williams and McBirney (1969) to be 300 to 1000 m thick. These late Tertiary rocks were defined in SE Guatemala by Burkart (1965) and described by Williams and McBirney (1969), who found most of the tuff units to be rhyolitic in composition.

The stratigraphically lowest exposures of the Padre Miguel rocks are located along the floor of the upper Quebrada del Agua Caliente (Fig. 3). They are massive andesitic lavas, with purplish-gray groundmass containing 5% hornblende and 1% plagioclase feldspar phenocrysts. The lavas are cut by fractures filled with quartz and by thin (<10-cm) dikes of a lighter gray andesite. In this area, the lowest tuff subunit appears to be in depositional contact upon the andesite. Where the contact is seen in the Quebrada del Agua Caliente, it is strongly silicified. This subunit is over 50 m thick and is a white, fine-grained tuff with less than 5% small phenocrysts and only rare lithic clasts. The tuff contains lenses of interbedded gravel, consisting mostly of rounded pumice clasts and andesite pebbles.

Fine-grained white tuffs are overlain by a sequence of pyroclastic flow deposits. Most are white to cream-colored massive units with only faint bedding. Most have less than 5% lithic clasts, which are mostly andesitic lavas. Some tuff beds are crossed by clastic dikes. All are nonwelded and show some degree of replacement by clays and zeolites.

One distinct tuff unit, which could be used as a stratigraphic marker in the area, contains 25% dark green lithic clasts (1 cm long). This unit is

STRATIGRAPHIC SEQUENCE, QUEBRADA DEL AGUA CALIENTE

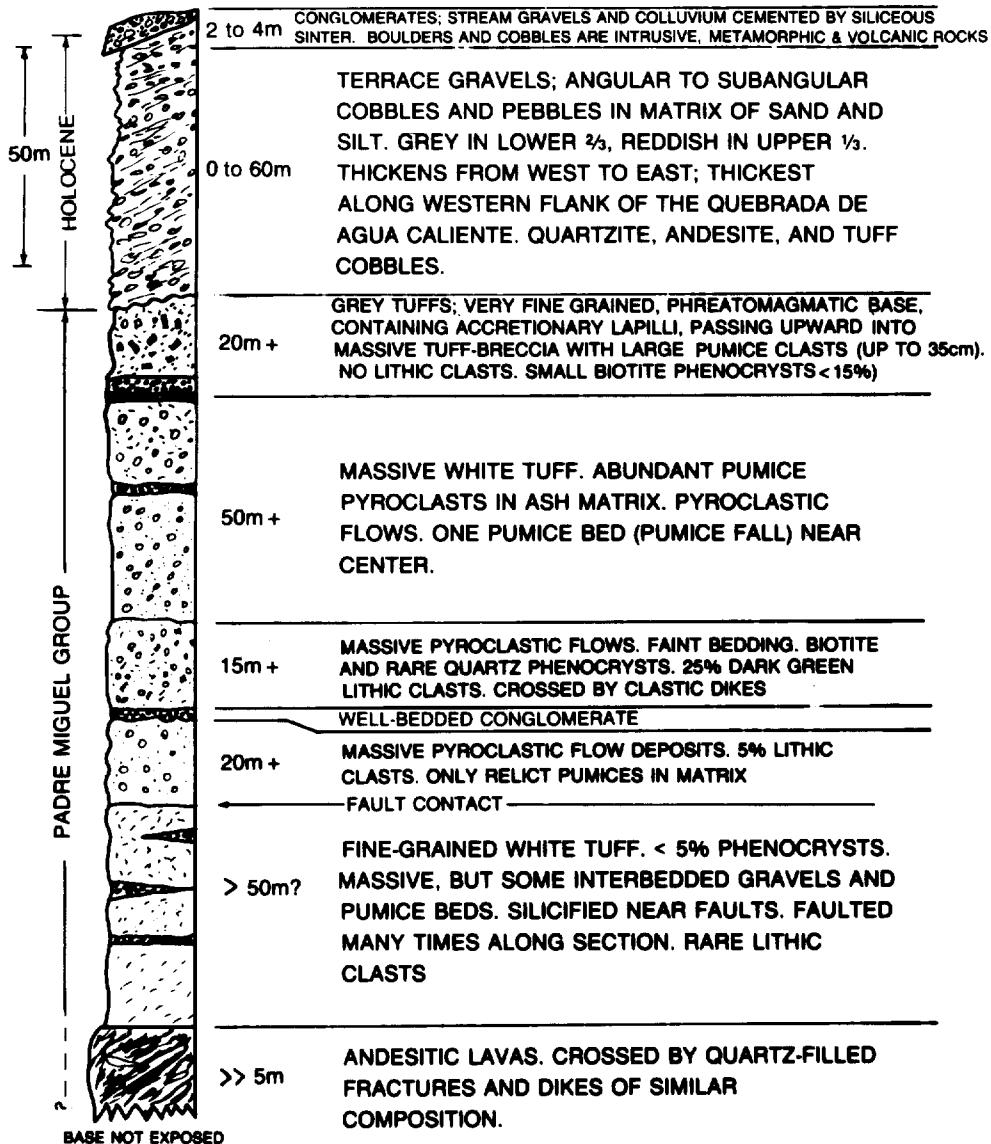


Figure 3. Stratigraphic section of Padre Miguel Group rocks exposed in and adjacent to the Quebrada del Agua Caliente.

well exposed along the east side of the Quebrada del Agua Caliente and at Spring No. 3, which is discussed in Sec. V.

Most pyroclastic flow units are separated by gravel lenses that consist of reworked lithic clasts from underlying units. These interbedded conglomerates are useful markers across the numerous faults that cut the section.

The uppermost sequence of tuff exposed at Platanares is very distinct. These gray, fine-grained tuffs consist of a 25-cm-thick basal unit of poorly bedded, very fine grained tuff with rare accretionary lapilli up to 1.5 cm in diameter. This basal unit grades upward into a 2- to 5-m-thick graded unit, consisting of abundant 1-cm-diameter accretionary lapilli in a very fine ash matrix. These lapilli, in turn, are overlain by over 4 m of massive tuff-breccia that consists of large (up to 35-cm-long) pumice clasts in a matrix of medium gray ash. This pumice-block-rich unit may grade upward into a tan pyroclastic flow, but the field evidence for this gradation is complicated by faulting.

Similar rock units are well exposed along the Río Lara, southwest of Platanares (Fig. 4). There, however, massive, fine-grained tuffs that contain accretionary lapilli and beds of vesicular tuff are the most common Padre Miguel rocks. These and many of the tuffs along the Quebrada del Agua Caliente appear to have a phreatomagmatic origin because of their extremely fine-grained nature, the presence of accretionary lapilli, the massive bedding, and the overall paucity of pumice clasts. Even the pyroclastic flow units have abundant fine-grained matrices, which suggest a phreatomagmatic origin. The significance of this origin to the tuffs exposed in the Platanares area is not fully appreciated because no well-defined vent area was found.

All of the tuff units are strongly silicified near major faults. The brittle, silicified tuffs are crossed by numerous fractures that are commonly filled with calcite. Many faults are visible on aerial photographs because of the resistant ridges of silicified tuff that flank them. Fractured, silicified tuff may be an important geothermal reservoir rock because the fractures show signs of staying open and allowing flow of fluids for some time. The extent of hydrothermal alteration in silicified tuffs, open fractures visible

**STRATIGRAPHIC SEQUENCE, LOWER RÍO LARA
(APPROXIMATE THICKNESSES)**

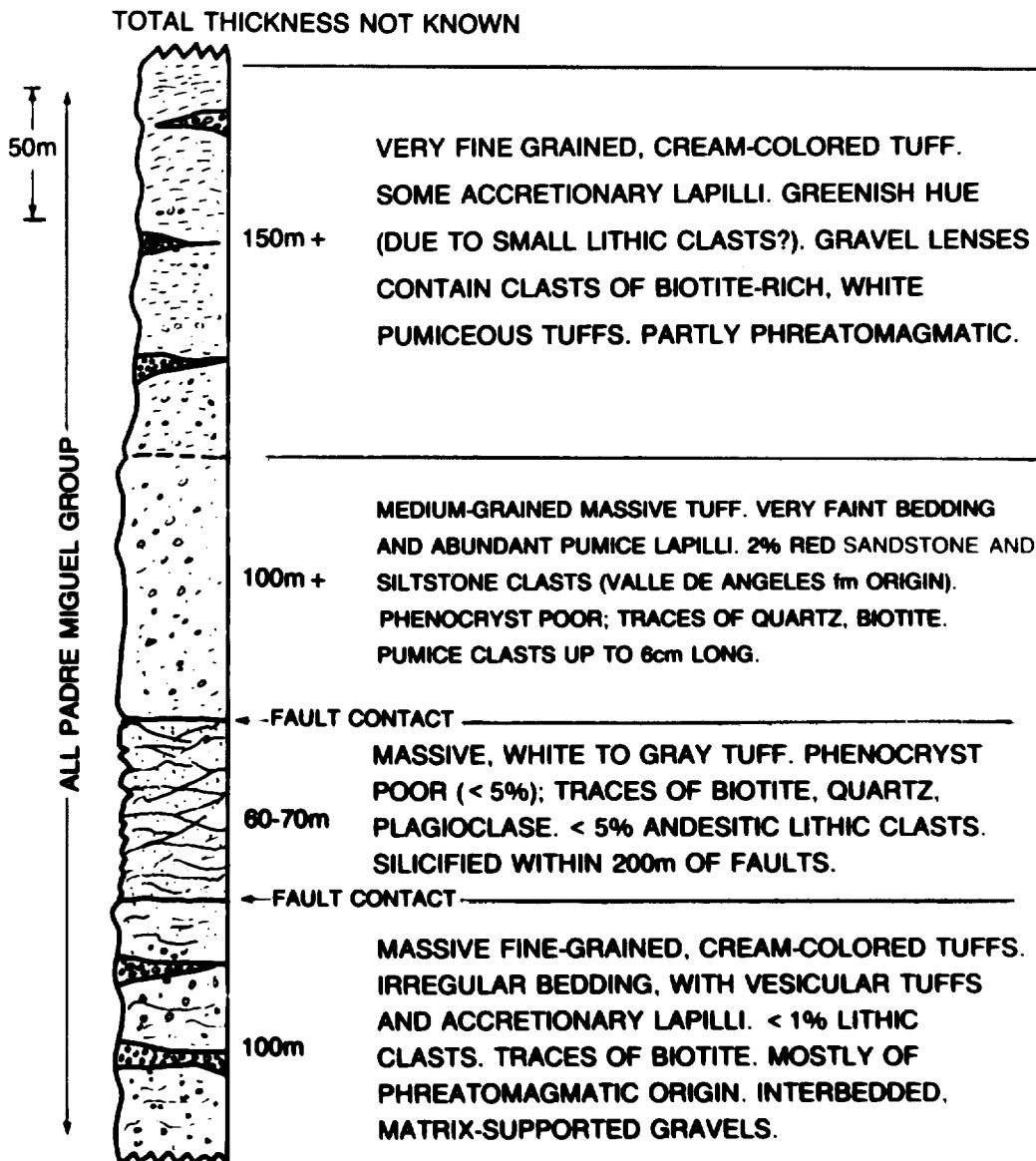


Figure 4. Stratigraphic columnar section of Padre Miguel Group rocks exposed in the Río Lara, southwest of Platanares.

in outcrop, and springs issuing from silicified tuff in the upper Quebrada del Agua Caliente all support this conclusion.

B. Quaternary Deposits

1. Terrace Gravels. The village of Platanares and its abandoned airstrip are located on a 1.0- by 1.25-km stream terrace, which also forms the southwestern slopes of Quebrada del Agua Caliente. The surface slopes gently at about 3.5° to the southeast from an elevation of 800 m to 740 m.

Terrace gravels form a wedge up to 60 m thick against the underlying Padre Miguel rock units. The deposit consists of poorly bedded gravels of angular to subangular cobbles and pebbles, mostly quartzite, andesite, shale, and tuff. The upper third of this deposit has a reddish color.

A lower terrace is present on the southeast side of the mapped area near the mouth of the Quebrada del Agua Caliente where it flows into the Río Higuito. This terrace slopes to the southeast at an elevation of about 700 m and is presumably younger than the terrace that underlies Platanares.

Terraces indicate that the Platanares area has experienced uplift and renewed incision by stream flow in Quaternary times. The position of these terraces along north-south-trending slopes, their composition of reworked basement and Tertiary rocks of nearby mountains, and the nearly horizontal attitude indicate that their formation is related to the most recent phase of graben-related faulting of a N-S trend as is discussed in Sec. IV.

2. Sintered Conglomerate. Unconformably overlying tuffs along the Quebrada del Agua Caliente are conglomerates cemented by silica sinter. These deposits consist of boulder to cobble-size, rounded to subrounded clasts that form the supporting framework. These conglomerates are interbedded with coarse sandstones. Rock types include metamorphic, intrusive, red-bed clastic, and volcanic rocks (lavas), and they represent almost all lithologies exposed along the stream's headwaters. Conglomerates and some colluvium are tightly cemented by silica sinter. They form overhanging ledges and occasional caprock formations for hot spring emanations, but they can also be penetrated by springs, especially in the main area from spring numbers 12 to 16. The most recent stream gravels noted in the main spring area are actively being cemented by silica sinter.

IV. STRUCTURAL GEOLOGY

Rocks within the Platanares area are broken by numerous normal faults. These rocks are not folded and no evidence of post-Paleozoic compression is evident.

Faults and associated fracture systems can be classified by trend into four groups, listed here as oldest to youngest, determined by mapped cross-cutting relationships.

EAST-WEST: Strikes N80°E to N70°W, dips 60°SW to 75°NE
NORTHWEST: Strikes N30°W to N60°W, dips 50°NE to 60°NE
NORTHEAST: Strikes N40°E to N65°E, dips 60°NW to 80°NW
NORTH-SOUTH: Strikes N0° to N5°W, dips vertical to 60°NE

Slickensides, minor offset, and drag on all of these faults indicate normal dip-slip movement. The exceptions are two of the EAST-WEST faults, which contain some subhorizontal slickensides in addition to the more common subvertical slickensides. Normal slip on these faults is to be expected because Honduras has been subjected to regional extension since at least mid-Miocene time (Dengo and Bohnenberger, 1969).

Rotation of blocks between faults has resulted in a variety of attitudes for the bedded rocks in the area. This rotation is superimposed on a regional northwest-striking, southwest-dipping trend within the Padre Miguel Group rocks. Because of these rotations, somewhat more gentle dips on these faults can be expected at depth, particularly on the smaller faults, and a "listric" nature to extensional faults is probable, as is portrayed on the cross sections (Plate 2). Apparently because of fault drag, stratigraphic dips immediately adjacent to the faults can approach vertical. Elsewhere, dips in the tuffs are less than 60° with most falling into the 20° to 30° range.

EAST-WEST-trending faults form the oldest of the four groups. The next younger groups are the NORTHEAST and NORTHWEST trends. In general the NORTHEAST-trending faults appear to be the younger of the two from mapped offsets (Plate 1). The NORTH-SOUTH trend is the youngest and cuts all other fault trends. The N05°W strike of the faults is parallel to the trend of the Miocene and younger boundary faults of regional graben structures such as the

Sula graben in north-central Honduras. These regional grabens are thought to be Recent structural features (Everett and Fakundiny, 1969; Dengo and Bohnenberger, 1969; Plafker, 1976).

Stratigraphic control is insufficient to measure precisely the amount of displacement on these faults except in the area where NORTHEAST faults cut andesite in the Quebrada del Agua Caliente. Here, the top contact of the andesite is mapped, and an offset of tens of meters down to the southeast can be inferred along the fault splays. This relationship indicates a thickness for the andesite of 50 to 100 m in order to satisfy topographic constraints for the nearly horizontal andesite contact. This thickness compares favorably with a thickness of altered andesite 80 m reported at the nearby San Andres mine.* For most of the area, the faults occur entirely within tuffs of the Padre Miguel Group, suggesting displacements on the order of 300 to 500 m thick, as determined by minimum thickness estimates from stratigraphic measurements and work done by Williams and McBirney (1969). Faults that bound the Valle de Angeles Group outcrops and the Paleozoic metamorphic basement rocks to the west of Platanares require offsets of relatively large displacement, probably greater than 500 m, in order to bring Paleozoic rocks in contact with the Valle de Angeles rocks.

Fracture sets exposed in the Río Lara and Quebrada del Agua Caliente, especially in the area of main spring activity, deserve special mention. Within this group of NORTHWEST faults, there is a subgroup of N45°W, vertical to steeply northeast-dipping fractures that appear to have little or no displacement. Lines of hot springs tend to appear along this N45°W trend. This set of fractures in surface rocks may represent the upward extension of fundamental fractures in older rocks at depth. If this hypothesis is true, then these fractures may provide the main conduits for thermal waters to rise from depth and subsequently issue at the surface along relatively young and open NORTHWEST fractures, and NORTHEAST and NORTH-SOUTH faults. Alternatively, fractures may be just the near-surface rock response to the relatively dense zone of fault intersections in the quebrada, as is shown in the cross sections (Plate 2). We prefer the first hypothesis because of the regional

*This information was provided by J. Campbell, Minerales de Copán, 1985.

presence of similarly oriented fracture systems both to the west of Platanares and to the northwest of the studied area. Flores (1980), in fact, mapped the northwest fractures as one large northwest fault system along the trace of the quebrada. This fault system was supposed to be the major structural locator of hot springs in the area. Most likely, this northwest structural grain is a deep and relatively older structural feature that is manifested today in surface rocks by a system of EAST-WEST, NORTHWEST, NORTHEAST, and NORTH-SOUTH faults.

Structural Control of Hot Springs and Fumaroles

All hot springs at this site lie along faults that have been described above. The hottest springs within the area are boiling and lie along the northwest fracture trends. Springs rise along faults and fractures in and near the bottom of the Quebrada del Agua Caliente (Plates 1 and 3). Most come directly to the surface, but others seep laterally for short distances below sintered conglomerate or silicified tuff. At the waterfalls, hot springs flow laterally along bedding planes in silicified tuff.

Warm springs visited in the Río Lara lie near the intersection of a major fault, trending N80°E, and silicified tuffs associated with a NW-trending fracture system.

V. DESCRIPTION OF SPRING SITES

In the following sections, hot springs and some of the geologic occurrences of steam and hot water near Platanares are described, specifically along the Quebrada del Agua Caliente. The springs are located roughly along a northwest trend between UTM (Universal Transverse Mercator) grid coordinates 934323 and 921334. At each spring, water temperatures were measured and averaged; flow rates were estimated where possible; and geological observations concerning lithology and structure were recorded. The relative locations of each spring with summary descriptions are shown on a map that was made by tape measurements along compass bearings (Plate 3).

Spring Descriptions

Spring 1

This seep was the southernmost hot-water manifestation measured in the quebrada. It consists of two pools on the east bank of the stream; the

dimensions of the easternmost pool are 1 by 2 m and those of the western pool are 1 by 2.5 m. The pools are fed by submerged springs and are in a coarse-grained, silicified conglomerate. The conglomerate is a common rock along the quebrada (discussed in Sec. III.B.2). At this location the conglomerate is matrix supported with a fine-grained matrix of silica and has rounded clasts that range in size from about 1 m down to sand size. In addition to these pools, several seeps of tepid water issue from the east bank of the quebrada at levels about a meter above the stream, where the degree of silicification decreases upward. No faults or fractures were noted at this site. Orange and green algae cover the bottoms of both pools; some steam rises from the surface of both pools.

Temperature (spring): 50°C (122°F)

Temperature (stream): 38°C (100°F)

Discharge Rate: 2-5 l/min

Spring Group 2

This location has three separate springs discharging along an approximately N-S line, extending from the east side of the quebrada. Spring 2 flows from the quebrada wall through a fine-grained, tan- to buff-colored tuffaceous rock, which is aphyric and contains no lithic or pumice clasts. Spring 2a is 25 m north of the stream and Spring 2b is 50 m north. Both springs issue through the silicified boulder conglomerate and appear to be located along a N20°E trend (fault). Spring 2 is a small fumarole with wet steam and water discharge and minor silicic sinter deposited around the vent. Spring 2a is an area of steaming ground and minor water discharge. Spring 2b is a boiling hot spring with minor steam discharge and silicic alteration around the vent.

Temperature (spring): No. 2 - 99°C (211°F)

No. 2a - not recorded

No. 2b - 96°C (205°F)

Temperature (stream): 33°C (92°F)

Discharge Rate: No. 2 - 1-5 l/min

No. 2a - <1 l/min

No. 2b - 10 l/min

Spring 3

A small pool less than 50 cm in diameter has formed above a hot spring flowing from the base of the west wall of the quebrada and the intersection of a N60°W fault and a permeable pumice fall bed in a sequence of pyroclastic flows. The pyroclastic flows are generally tan to light green and have about 30% lithic fragments and small (<0.5-cm) pumices, a rock similar to that described in Sec. III.A. as a green tuff.

Temperature (spring): 98°C (208°F)

Temperature (stream): 44°C (112°F)

Discharge Rate: 6 l/min

Spring 4

This small spring issues from a tuff bed approximately 0.5 m below a contact with the overlying boulder conglomerate. The spring orifice is located on a prominent N40°W fault, and the spring forms a small pool approximately 20 cm in diameter under a shelf of silicified boulder conglomerate.

Temperature (spring): 88°C (190°F)

Temperature (stream): 39°C (103°F)

Discharge Rate: 5 l/min

Spring Group 5

This group of three springs is associated with a prominent N30°W fault scarp. All three springs issue from slumped, massive tuffs. The lowest spring forms a pool approximately 7 m long and 1.5 m wide, fed by numerous bubbling vents and minor seepage along the fault scarp. The two upper springs are approximately 10 m above and 40 m northwest of the lower spring. One of these springs forms a bubbling pool with minor siliceous sinter and black algae, and the other spring is warm with no siliceous deposits.

Temperature (spring): 99°C (210°F)

Temperature (stream): 41°C (106°F)

Discharge Rate: 5 l/min (upper spring)

10 l/min (lower spring)

Spring 6

The geologic setting is nearly the same as that for Spring Group No. 5.

Temperature (spring): 100°C (212°F)

Temperature (stream): 41°C (106°F)

Discharge Rate: 4 l/min

Spring 7

The spring issues from recent alluvium; no bedrock exposures are visible. It forms small pools and seeps among the stream gravels; black and green algae are present.

Temperature (spring): 63°C (145°F)

Temperature (stream): 41°C (106°F)

Discharge Rate: <5 l/min

Spring 8

A single spring issues from the intersection of a fracture and bedding planes in the massive tuff unit. It is boiling with a spurting discharge about every 5-10 s.

Temperature (spring): 99°C (210°F)

Discharge Rate: >10 l/min

Spring Group 9

The springs spread over a large area of the north bank of the stream, extending north along a trend of approximately N45°W. The springs at the stream level are spouting from bedding planes in slumped, massive tuff units. In addition, there is a single wet steam fumerole at the stream surface. North of the stream and topographically above it are several fumaroles that are issuing along fractures in the tuff unit. These fractures trend N45°W and are in zones of the tuff that appear to have been sheared and fractured.

Temperatures (springs): 88°-98°C (190°-209°F)

Spring Group 10

Several springs and wet steam issue from a block of slumped tuff that has approximately 5% lithic fragments. The steam and springs are issuing along N45°W-trending fractures in the slump block. Siliceous sinter has been deposited in the stream sediments around the base of the slump block.

Temperature (springs): 95°C (203°F)

Discharge Rate: 5 l/min

Spring Group 11

Numerous seeps originate in subhorizontal fractures in faulted silicified conglomerate and from the face of a N45°W-trending fault, which is coated with black algae.

Temperature (spring): 87°C (189°F)

Temperature (stream): 38°C (100°F)

Discharge Rate: 9 l/min

Spring Group 12

The entire southeast side of the stream between Springs 11 and 13 is composed of seeps and springs that are issuing from horizontal fractures in bedded silicified stream gravels. The fractures trend from N45°W to N-S. An additional hot spring occurs in lithologically similar rocks across the stream.

Temperature (spring): 66°C (151°F)

Discharge Rate: 9 l/min

Spring Group 13

Springs issue through unconsolidated stream gravels that are silicifying rapidly. The area of discharge is approximately 15 m wide by 25 m long, the long axis parallel to the stream channel. Sparse green and black algae are also present.

Temperature (springs): 92°C (198°F), 99°C (210°F), 99°C (210°F)

Discharge Rate: 2 l/min

Spring Group 14

Springs and fumaroles form one of the hottest, most active groups. The manifestation issues through silicified conglomerate from a 20- by 20-m zone. Both siliceous sinter and black algae are prevalent throughout the area.

Temperature (spring): 99°C (210°F)

Temperature (stream): 38°C (100°F)

Discharge Rate: 10 l/min

Spring 15

A large spring and fumarole issue from the intersection of the contact between silicified conglomerate and massive tuff with a N45°W-trending fracture. On the opposite bank of the stream, north of this site, a N90°E

fault cuts the silicified conglomerate. Black algae and siliceous sinter coat the rocks in the vicinity.

Temperature (spring): 99°C (210°F)

Discharge Rate: 13 l/min

Spring Group 16

Spurting springs and associated fumaroles issue from silicified conglomerate along a line extending N45°W from location 15.

Temperature (springs): 94°C (202°F), 95°C (203°F), 99°C (210°F)

Temperature (stream): 36°C (97°F)

Discharge Rate: 10 l/min

Spring 17

The spring issues from the intersection of a fault with the contact between massive tuff and silicified conglomerate.

Temperature (spring): None recorded

Temperature (stream): 36°C (97°F)

Spring 18

The spring is located in massive tuff beds approximately 5 m above stream level. An extensive sinter deposit has formed in the tuff and alluvium surrounding the spring.

Temperature (spring): 82°C (179°F)

Temperature (stream): 35°C (95°F)

Spring 19

The spring issues from silicified conglomerate and has formed a terrace of sinter that is covered with green and black algae.

Temperature (spring): 74°C (165°F)

Spring 20

The spring forms a tributary to the main stream, surfacing in silicified tuff beds approximately 50 m west of the main stream.

Temperature (stream): 50°C (122°F)

Discharge Rate: 20 l/min

Spring 21

This small spring issues from the contact between tuff beds and silicified conglomerate approximately 3 m above the stream bed.

Temperature (spring): 71°C (160°F)

Discharge Rate: 2 l/min

Spring 22

The spring forms a warm, green, slimy pool in a massive tuff unit. The tuff contains abundant green lithic fragments.

Temperature (spring): 41°C (106°F)

Spring 23

This spring is in partly silicified alluvium in a pool below the waterfall. Although the spring occurs in silicified conglomerate, the upper and lower units are silicified tuffs, suggesting that the cliff over which the stream flows is a major fault.

Temperature (spring): 69°C (157°F)

Discharge Rate: 4 l/min

Spring 24

A boiling spring issues from a subhorizontal fracture approximately 10 m above the level of the plunge pool. The walls below the spring are covered with green and black algae and siliceous sinter.

Temperature (spring): Not measured

Discharge Rate: <5 l/min

Spring 25

This spring issues from boulders in a grotto approximately 20 m west of the main stream. It consists of a warm spring associated with a N90°E-trending silicic dike that has intruded a silicified andesite lava flow. The massive andesite is purple with fracture fillings of white microcrystalline silica. In hand specimen, the rock is approximately 15% feldspar phenocrysts, 5% unidentified mafics, and 80% microcrystalline groundmass. The dike is white microcrystalline silica and is approximately 30 cm wide. The spring has abundant black and green algae.

Temperature (spring): 38°C (100°F)

Discharge Rate: 20 l/min

Spring 26

The spring surfaces along the contact between andesite lava and an upper yellow-orange tuff. It is a bubbling spring that has deposited siliceous sinter.

Temperature (spring): 98°C (208°F)

Discharge Rate: 5 l/min

Spring 27

This spring also issues from the andesite lava-tuff contact. It forms a group of bubbling hot springs on both sides of the stream that have deposited siliceous sinter on the canyon walls and that support a growth of black and green algae.

Temperature (spring): 94°C (202°F)

Temperature (stream): 39°C (103°F)

Discharge Rate: 2-3 l/min

Spring Group 28

Springs issue from both sides of the stream in andesitic lavas and deposits of siliceous sinter that mask the underlying rock type. They line up along a N45°E trend that is cut by a north-south-trending fault along which the stream flows.

Temperature (springs): 88°C (190°F), 92°C (198°F), 99°C (210°F)

Temperature (stream): (above springs) 20°C (68°F)

Discharge Rate: >10 l/min

VI. THERMAL BUDGET AND POSSIBLE HEAT SOURCES

To estimate the size of the heat source at Platanares, we measured temperatures and flow rates at the 28 springs discussed above. Over half of these springs were at or near boiling; however, only small amounts of steam flow were noted. Still, the abundance of boiling water attests to a measurable thermal anomaly in the area. From the data given in Table I, we can estimate thermal output at between 0.7 and 1.0 MW. The total surface area over which these springs emanate along the Quebrada del Agua Caliente (0.2 km^2) and the estimated thermal energy flux suggest an area of relatively high heat flow.

Upstream from the observed hot springs, Quebrada del Agua Caliente flowed with a temperature of 21°C at several thousand liters per minute during the field work in May 1985. Downstream temperatures (Table I) averaged approximately 37°C, which indicate an increase of the stream's thermal energy on the order of several megawatts. Because this estimate is larger than the integrated value for measured hot springs shown in Table I, there must be a significant contribution from unmeasured springs that are submerged in the stream bed.

Field observations do not reveal the degree of hot spring flow caused by vapor-driven rise of steam condensate, artesian emanation of hot water, and mixing of cool ground water in the hot springs. However, geochemical data should provide interpretations of origins of the hot water. Because only minor hot spring flow was noted in Río Lara and local residents did not indicate that spring water is generally warm in the area, it seems likely that Quebrada del Agua Caliente is the major outflow area.

Two origins of the hot water are being considered, and others may apply when we know more about the water chemistry. Heating of ground water by deep circulation and convective rise in strongly fractured areas is plausible at Platanares because of the regional high heat flow and evidence of an older, buried, throughgoing NW-trending fault system and 10^7 years of regional extension. On the other hand, the abundance of silicified tuffs and the strongly hydrothermally altered andesite at the San Andres mine are fossil evidence of active geothermal systems in the Platanares area over millions of years. Probably, these fossil geothermal systems are related to magma intrusion, which is evident at the San Andres mine where an andesite plug has intruded and altered andesite lavas.* Therefore, the possibility that more recent intrusions have occurred at depth in the area should be considered. If relative crustal weakness does occur at Platanares, deep-seated intrusions can be expected.

Thermal gradient boreholes, located near the quebrada, can help answer questions as to whether the heat flow at Platanares is an artesian manifestation of the regional heat flow or is a system localized by a strong convective flow issuing from depth.

* This information was provided by J. Campbell, Minerales de Copán, 1985.

TABLE I. Thermal Budget

Spring No.	Temperature		Flow ^a l/min (gal/s)	Thermal Output ^b kW
	Spring °C (°F) KW	Stream °F		
1	49 (120)	100	2-5 (32-83)	3.2-8.4
2	99 (211)	92	1-5 (16-83)	4.0-25.8
2b	96 (205)	92	10 (166)	49.5
3	98 (208)	112	6 (100)	30.6
4	88 (190)	103	5 (83)	21.9
5				
6	94 (202)	106	4 (67)	19.4
7	63 (145)	105	<5 (<83)	13.2
8	99 (210)		>10 (>166)	51.6
9b	88 (190)			
9c	98 (209)		~15 (250)	66.1
10	95 (203)		--	--
11	87 (189)	100	7 (117)	30.5
12	66 (151)		9 (150)	25.8
13	99 (210)		2 (32)	9.9
14	99 (210)	100	10 (166)	51.6
15	99 (210)		13 (217)	67.4
16	99 (210)	97	10 (166)	51.6
17	--	97	--	--
18	82 (179)	95	~1? (16)	3.8
19	74 (165)		~1? (16)	3.3
20	50 (122)		>20 (333)	34.9
21	71 (160)		~2 (32)	6.2
22	41 (106)		--	--
23	69 (157)		3-4 (50-66)	9.2-12.2
24	boiling	90-100	~5 (83)	25.8
25	38 (100)		20 (333)	18.2
26	98 (208)		~1 (16)	4.9
27	94 (202)	103	2-3 (32-50)	9.3-15.3
28	93 (200)		10 (166)	47.4
TOTAL	(minimum)		174-184	660-700
	(maximum)		270	1,000

^aFlows estimated were judged to be minimum values, and maximum values are greater by approximately 50%.

^bThermal output = flow $\times C_p(T_{H_2O} - T_{ref})$, where $C_p = 4.2 \text{ J/g}$ and $T_{ref} = \text{ambient } \approx 25^\circ\text{C}$.

VII. RECOMMENDATIONS FOR ELECTRICAL RESISTIVITY AND THERMAL GRADIENT BOREHOLES

The stratigraphy of the Platanares area is still incompletely understood even after this field study. In particular, the thickness of Padre Miguel rocks and the depth to the Mesozoic and Paleozoic rocks under Platanares is not known. The location of faults and the relative movement along faults in the area, however, have been measured with some degree of certainty. The combination of these field data with a deep electrical resistivity survey can be used to interpret the subsurface rock types at Platanares, especially since laboratory resistivity tests can be made on samples from nearby Valle de Angeles red beds and Paleozoic schists. Locating faults by geologic study would then help characterize the expected resistivity of fault/fracture-controlled permeable zones containing conductive fluids and materials (clays).

We recommend that a dipole-dipole resistivity line, with a nominal length of 5 km, be run along the Quebrada del Agua Caliente. The terrace at Platanares, west of the quebrada, is relatively flat along much of this line, and we have constructed our geologic cross section A-A' so that it can be used in conjunction with the survey results.

As discussed in Sec. VI, several heat flow questions can be answered by measuring thermal gradient boreholes. Holes drilled to several hundred meters below Platanares (on the terrace) would provide information on the contribution, if any, of lateral hot water flow along the contact between Padre Miguel rocks and terrace gravels. Also, the measured gradients would provide heat flow data from which the magnitude of the apparent anomaly in the Quebrada del Agua Caliente could be calculated.

REFERENCES

- Burkart, B., 1965, Geology of the Esquipulas, Chanmaga, and Cerro Montecristo Quadrangles, southeast Guatemala [Ph.D. dissert.]: Houston, Texas, Rice University.
- Dengo, G., and Bohnenberger, R., 1969, Structural development of northern Central America, in Tectonic relations of Northern Central America and Western Caribbean: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem., II, p. 203-220.
- Dupré, W. R., 1970, Geology of the Zambrano Quadrangle, Honduras, Central America [M.A. thesis]: University of Texas at Austin, 128 p.

Eppler, D., Fakundiny, R., and Ritchie, A., 1986, Reconnaissance evaluation of Honduran geothermal sites, Los Alamos National Laboratory report LA-10685-MS.

Everett, J. R., and Fakundiny, R. H., 1969, Post-Paleozoic tectonic history of the Comayagua Valley region, Honduras, Central America: Geol. Soc. Amer. Abs. with Programs, Annual Meeting, p. 60-61.

Finch, R., 1981, Mesozoic stratigraphy of Central Honduras: Amer. Assoc. Petrol. Geol., v. 65(7), p. 1320-1333.

Flores, W., 1980, Geology of the Platanares area, Annex V, in Report of the activities and interpretation of results of the geothermal project of Honduras 1979-1980: Energy Programme of the Central American Isthmus, RLA/76/012.

GeothermEx, Inc., 1980, Honduras, Central America Energy Program Phase II, Reconnaissance geochemical survey and interpretation of thermal spring waters and gases: Richmond, California.

Gislason, G., 1980, Report of the activities and interpretation of results of the geothermal project of Honduras 1979-1980: Energy Programme of the Central American Isthmus, RLA/76/012, Empresa Nacional de Energía Eléctrica, v. 1.

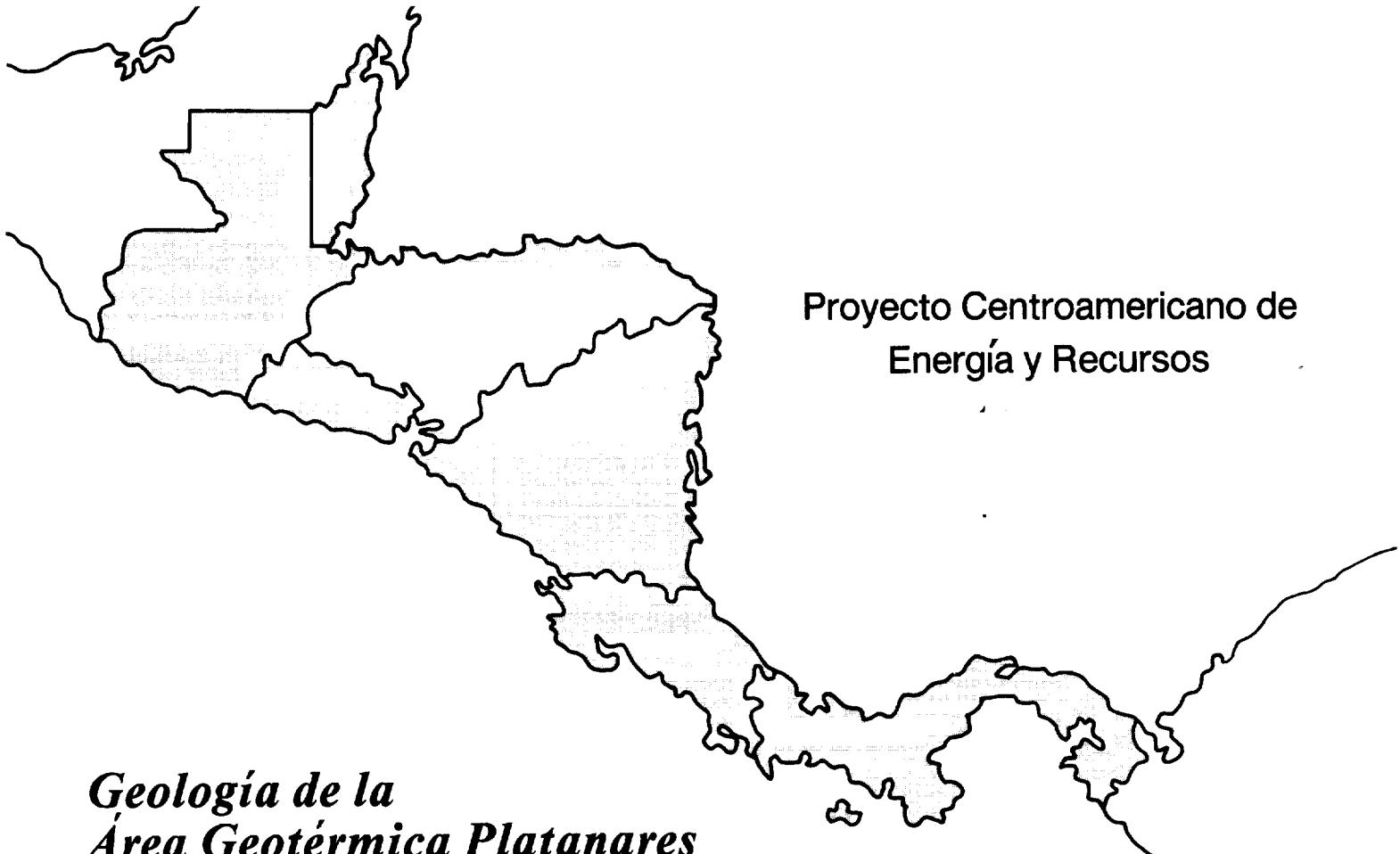
Mills, R. C., Hugh, D. E., Feray, D. S., and Swolfs, H. C., 1967, Mesozoic stratigraphy of Honduras: Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., v. 51, p. 1711-1786.

Plafker, G., 1976, Tectonic aspects of the Guatemala earthquakes of 4 February, 1976: Science, v. 193, p. 1201-1208.

Williams, H., and McBirney, A. R., 1969, Volcanic history of Honduras: University of California Publ. Geol. Sci., v. 85, p. 1-101.

LA-10634-MS

Los Alamos National Laboratory is operated by the University of California for the United States Department of Energy under contract W-7405-ENG-36.



Proyecto Centroamericano de
Energía y Recursos

*Geología de la
Área Geotérmica Platanares
Departamento de Copán,
Honduras, América Central*

Informe de Campo

Los Alamos

Los Alamos National Laboratory
Los Alamos, New Mexico 87545

This work was supported by the U.S. Agency for International Development.

DISCLAIMER

This report was prepared as an account of work sponsored by an agency of the United States Government. Neither the United States Government nor any agency thereof, nor any of their employees, makes any warranty, express or implied, or assumes any legal liability or responsibility for the accuracy, completeness, or usefulness of any information, apparatus, product, or process disclosed, or represents that its use would not infringe privately owned rights. Reference herein to any specific commercial product, process, or service by trade name, trademark, manufacturer, or otherwise, does not necessarily constitute or imply its endorsement, recommendation, or favoring by the United States Government or any agency thereof. The views and opinions of authors expressed herein do not necessarily state or reflect those of the United States Government or any agency thereof.

LA-10634-MS

UC-66a
Issued: May 1986

**Geología de la
Área Geotérmica Platanares
Departamento de Copán,
Honduras, América Central**

Informe de Campo

El Equipo de Geología de la Área de Platanares

G. Heiken
D. Eppler
K. Wohletz

W. Flores*
N. Ramos*

A. Ritchie**

*Empresa Nacional de Energía Eléctrica, Tegucigalpa, HONDURAS.

**Asesoría de Los Alamos, College of Charleston, 66 George Street, Charleston, SC 29424.

Los Alamos Los Alamos National Laboratory
Los Alamos, New Mexico 87545

LAMINAS

- Lámina 1. Mapa geológico del emplazamiento geotérmico Platanares ilustrando las características estructurales y la distribución litológica.
- Lámina 2. Cortes transversales geológico A-A', B-B y C-C' en la área Platanares. Ver el mapa geológico (Lámina 1) por las leyendas y la ubicación de las líneas transversales.
- Lámina 3. Mapa de los manantiales de agua caliente en la Quebrada del Agua Caliente cerca de Platanares.

RESUMEN EJECUTIVO

La investigación de la área geotérmica de Platanares forma parte de una evaluación conjunta entre Honduras (Empresa Nacional de Energía Eléctrica) y los Estados Unidos de América (Laboratorio Nacional de Los Alamos y el Servicio Geológico de los Estados Unidos) del potencial de recursos geotérmicos nacionales de Honduras. La evaluación de recursos geotérmicos es parte del Proyecto de Recursos Energéticos para América Central respaldado por la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos.

Platanares se escogió como una de las áreas iniciales para realizar un estudio detallado a base del trabajo previo de reconocimiento geotérmico. El propósito de este estudio fue de efectuar una evaluación primaria del sistema geotérmico para determinar si se justificaban investigaciones adicionales utilizando técnicas geoquímicas y geofísicas. Para determinar el sitio donde se perforará un pozo de exploración. Cuando este pozo haya sido examinado y evaluado, Honduras dispondrá de la información que necesita para tomar decisiones sobre el uso de este recurso geotérmico para la generación de electricidad.

Platanares es un pequeño pueblo minero ubicado aproximadamente 16 km al oeste de Santa Rosa de Copán en Honduras occidental. La área geotérmica, la cual está situada en el lado oeste de la Quebrada del Agua Caliente, posee manantiales de agua caliente que fluyen de las numerosas fallas que atraviesan la área.

Todos los manantiales de agua caliente en esta área están situados a lo largo de fracturas que representan extensiones ascendentes de las fallas en las rocas más antiguas a profundidad, proporcionando el conducto principal para que las aguas termales suban hacia el fondo de la Quebrada de Agua Caliente. La superficie total sobre la cual emanan estos manantiales es de aproximadamente $0,2 \text{ km}^2$. Se encontró que muchos de los manantiales en la área estaban en ebullición. Utilizando los datos estimados de las velocidades del gasto agua en ebullición hemos calculado el rendimiento térmico entre 0,7 y 1,0 MW. Esta conclusión fue verificada con la medición y comparación de la temperatura de la corriente arriba y abajo de la área del manantial de agua caliente. A partir de esta diferencia de temperatura de 16°C llegamos a la

conclusión de que existe una contribución significativa en el aumento de la energía térmica de la corriente debio a manantiales sumergidos que emergen en el lecho del río. Por consecuencia, estamos seguros que la contribución de energía térmica a la corriente es de varios megavatios.

Los resultados de los estudios geológicos indican que el potencial de Platanares como una fuente de energía eléctrica es extremadamente bueno. Esta conclusión preliminar debe ser substanciada por medio de estudios adicionales. Se necesitan investigaciones geológicas para definir aún más la geología del subterráneo y el sistema de fracturas. Deben perforarse varios pozos a una profundidad de varios cientos de metros para medir los gradientes térmicos. Esto permitirá el cálculo del potencial geotérmico de la área de Platanares, e indicará si se justifica el desarrollo posterior de la área.

GEOLOGÍA DE LA ÁREA GEOTÉRMICA PLATANARES
DEPARTAMENTO DE COPÁN, HONDURAS, AMÉRICA CENTRAL

Informe de Campo

realizado por

El Equipo de Geología de la Área de Platanares

Laboratorio Nacional
de Los Alamos

G. Heiken
D. Eppler
K. Wohletz

Empresa Nacional de
Energía Eléctrica

W. Flores
N. Ramos

Facultad de
Charleston

A. Ritchie

RESUMEN

La Área Geotérmica de Plantanares está ubicado a 16 km al oeste de Santa Rosa de Copán, Honduras, a lo largo de la Quebrada del Agua Caliente. Las manifestaciones térmicas se encuentran a lo largo de fallas en tobas, en rocas sedimentarias tobáceas y en lavas del Grupo Padre Miguel. Dichas tobas se encuentran silicificadas cerca de las fallas, están fracturadas y proporcionan la permeabilidad necesaria para el sistema hidrotermico. Las tobas están cubiertas por una terraza de grava de hasta 60 m de grueso. Los conglomerados cuaternarios de la Quebrada del Agua Caliente se encuentran consolidados por sílice sinterizada.

La área de Plantanares tiene numerosas fallas, las cuales parecen ser extensionales. Hay cuatro grupos de fallas ($N80^{\circ}E$ a $N7^{\circ}O$, $N30$ a $60^{\circ}O$, $N40^{\circ}$ a $65^{\circ}E$ y $N0^{\circ}$ a $5^{\circ}O$). Todos los manantiales de agua caliente se encuentran a lo largo de fallas que se orientan, en su mayor parte, hacia el noroeste y al norte. Se han describido veintiocho grupos de manantiales, la mitad en ebullición, en una área de $0,2 \text{ km}^2$. A base de las temperaturas de superficie y de los gastos, se estima que existe en la área $0,7$ a $1,0 \text{ MW}$ de energía térmica. El aumento de temperatura del río que fluye a través de la área termica indica que se suman varios megavatios de energía térmica al río.

Recomendamos que se extienda una línea de resistividad dipolo-dipolo a lo largo de la Quebrada del Agua Caliente para identificar las zonas con permeabilidad producida por fracturas, vinculada a fallas ocultas y depósitos de agua caliente en dichas zonas de fallas. Debe perforarse un pozo de gradiente en la terraza de la quebrada para realizar pruebas de temperatura, litología y ensayos de permeabilidad del sistema hidrotérmico.

I. INTRODUCCIÓN

Platanares, una aldea cerca del pequeño pueblo minero de San Andrés Minas, está ubicado aproximadamente a 16 km al oeste de Santa Rosa de Copán, Honduras, sobre la ladera occidental de la Quebrada del Agua Caliente (Fig. 1). Se entra al área por un camino de tierra que se inunda fácilmente y que serpentea por casi 20 km hacia el norte desde Cucuyagua a lo largo del Río

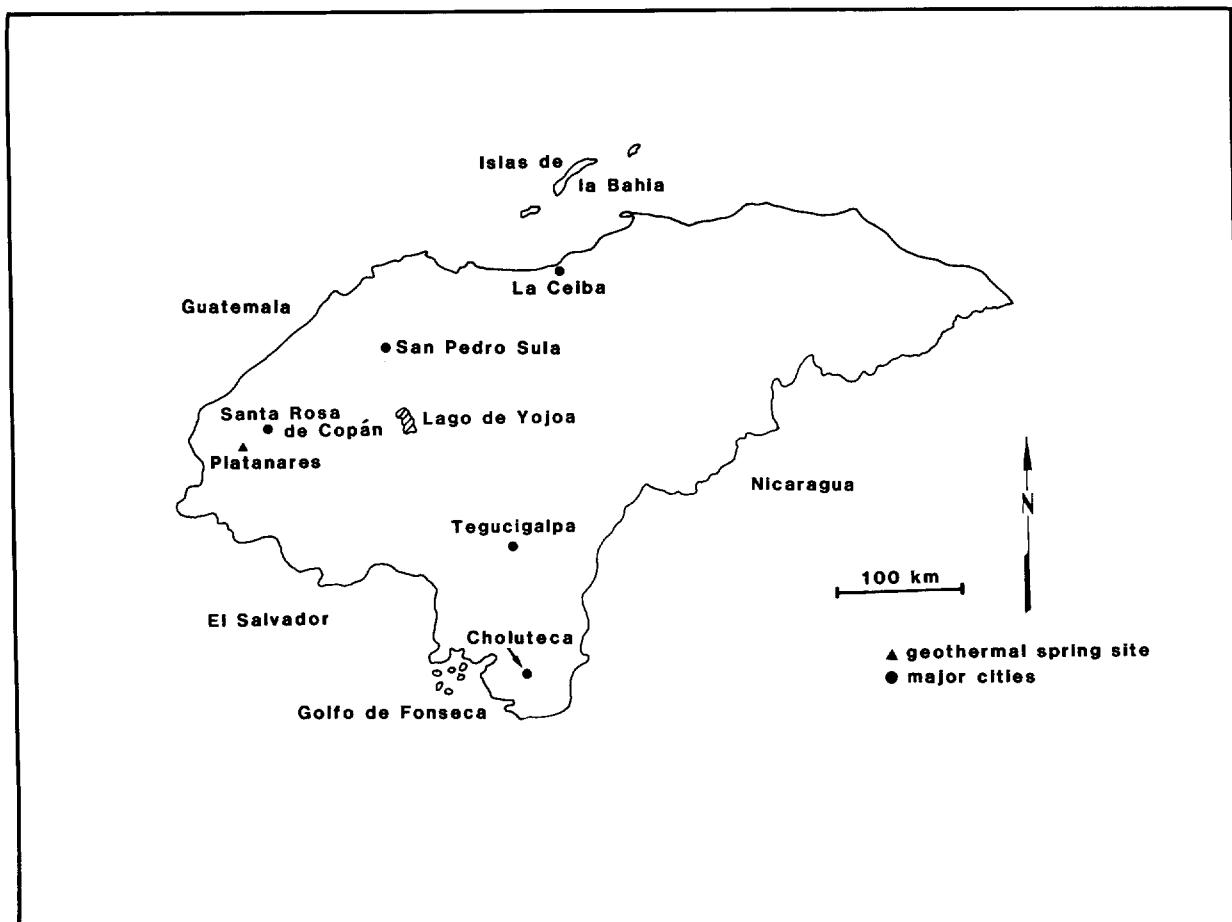


Figure 1. Mapa del emplazamiento geotérmico Platanares, Copán, Honduras.

Higuito. Surgen numerosos manantiales y fumarolas de las orillas del río por aproximadamente 1,5 km a lo largo de la quebrada adyacente a Platanares.

La planimetría geológica de la área de Platanares se completó en mayo de 1985 con un levantamiento detallado de los manantiales de agua caliente. El objetivo consistía en definir los controles estructurales y estratigráficos de los manantiales, identificar las fuentes probables de calor y efectuar recomendaciones para estudios posteriores aplicando técnicas geofísicas y de perforación.

Los métodos de estudio incluyeron tanto un levantamiento local de las relaciones estructurales y estratigráficas a una escala de 1:50.000 como una descripción detallada de afloramientos y planimetría a una escala de 1:10.000 sobre una superficie aproximada de 12 km². Se emplearon estudios anteriores y fotografías aéreas, y se realizó el levantamiento de las ubicaciones de los manantiales utilizando brújula y cinta.

Este informe incluye el análisis del trabajo anterior y el análisis de nuestros descubrimientos geológicos con el propósito de elaborar un mapa y cortes transversales; la descripción de los manantiales y su relación con los controles estructurales, la consideración de la capacidad térmica de los manantiales de agua caliente, el análisis del origen de los manantiales de agua caliente, y recomendaciones para trabajos posteriores.

II. TRABAJOS PREVIOS

La área de Platanares está ubicada en una región poco estudiada del occidente de Honduras, donde el terreno se encuentra dominado por secuencias muy gruesas del Grupo Terciario Padre Miguel, el cual está compuesto principalmente por tobas silílicas. Como dichas tobas están muy poco definidas, los indicadores estratigráficos no han sido definidos. Sin embargo, afloran rocas Mesozoicas y Paleozoicas, lo que proporciona al área algunas características estratigráficas reconocibles y relacionadas con la estructura geológica general de Honduras, según describieron Mills et al. (1967), Dupré (1970) y Finch (1981). El informe técnico preparado por Eppler et al. (1986), sobre las ubicaciones de manantiales geotérmicos en Honduras, resume las relaciones geológicas locales; y el trabajo realizado por Williams

y McBirney (1969) cubre aspectos generales útiles sobre las tobas del Grupo Padre Miguel.

La área de Platanares fue reconocida por primera vez por su potencial geotérmico en un estudio realizado por GeothermEx (1980). Aunque un mapa regional de la área* indica la existencia de tobas en la área de Platanares, dicho mapa no es lo suficientemente detallado para este proyecto. El levantamiento posterior de la área realizado por Flores (Anexo V de G. Gislason, 1980) cubrió la prospección de la área de Platanares e indicó la existencia de varias fallas importantes con dirección noreste y noroeste, con manantiales ubicados principalmente a los fallas que se orientan hacia el noroeste.

Las rocas que se encuentran en la área son esquistos del Paleozoico; la Formación Triásica El Plan (pizarra negra); estratos rojos, conglomerados y areniscas Cretáceas del Grupo Valle de Angeles; y rocas volcánicas de la era Terciaria (tobas silílicas y lavas andesíticas) que indican una alteración hidrotérmica local y zonas de silificación. Flores observó alrededor de 40 manantiales con temperaturas que oscilan entre los 54°C y la temperatura de ebullición y con gastos promedio cercanos a 1,5 l/s.

Eppler (comunicación en persona, 1985) realizaron recientemente un reconocimiento geológico de la área de Platanares. El observó la presencia de un sistema de fracturas verticales silicificadas que corta las tobas casi horizontalmente estratificadas. Este sistema es el que permite que fluyan vapor y agua caliente a la Quebrada del Agua Caliente desde fracturas y planos estratificados. En este trabajo, él formuló una hipótesis que demuestra que el agua caliente y el vapor suben a lo largo del sistema de fracturas verticales y luego se mueven horizontalmente a lo largo de planos de estratificación y fracturas antes de surgir al nivel del lecho actual del río. De este manera, a medida que el río erosiona hacia niveles más profundos, los manantiales se vuelven inactivos y aparecen en lugares nuevos. El reconocimiento originó preguntas sobre la relación de los manantiales de agua caliente con la mina cercana de oro de San Andrés, sobre las características de los sistemas de fracturas, sobre la posibilidad de una falla de hundimiento

*Este mapa de reconocimiento de Honduras occidental fue preparado para el Proyecto de las Naciones Unidas para el Desarrollo, en 1971.

cercano, y sobre la naturaleza del sistema de circulación de aguas subterráneas. A base de las recomendaciones de Eppler, este estudio está dirigido a la estratigrafía de las rocas volcánicas y sus permeabilidades, el levantamiento de todas las fracturas y la descripción de la mineralización.

III. ESTRATIGRAFIA

Rocas metamórficas Paleozoicas (filitas y esquistos) y unidades de rocas sedimentarias Mesozoicas (pizarras de la Formación El Plan y estratos rojos del Grupo Valle de Angeles) (ver Fig. 2) se encuentran expuestas en la región al norte y al oeste de la área de Platanares pero no en las quebradas cercanas. Dichas unidades muy probablemente están subyacentes a cierta profundidad, pero no poseemos datos sobre el espesor de las rocas superficiales del Grupo Padre Miguel. Además, en el Río Lara, se encontraron fragmentos de caliza masiva, fracturada, de color gris oscuro. Dichos fragmentos pueden provenir de uno de los estratos delgados de calizas del Grupo Valle de Angeles Superior o de la Formacion Atima más antigua y de mucho mayor espesor (Finch, 1981).

Debido a que las rocas del Grupo Padre Miguel dominan la área de Platanares, las descripciones litológicas que aparecen a continuación se concentran sobre dichas rocas. La secuencia litológica y los espesores de esta unidad sólo pueden considerarse como estimativos; la secuencia está cruzada por numerosas fallas y no se han observado secciones completas e inalteradas.

En el mapa geológico (lámina 1) se ve la distribución de los tipos de roca descritos a continuación.

A. Grupo Terciario Padre Miguel

El Grupo Padre Miguel es una secuencia de gran espesor de rocas volcánicas (en su mayor parte tobas y rocas sedimentarias tobáceas) que afloran en gran parte del sur y el oeste de Honduras y en el centro y sur de Guatemala. Williams y McBirney (1969) estiman que grupo es entre 300-1000 m de grueso. La existencia de estas últimas rocas Terciarias se verificó en el suroeste de Guatemala por Burkart (1965) y se describió por Williams y McBirney (1969), quienes descubrieron que la mayoría de las unidades de tobas tenían una composición riolítica.

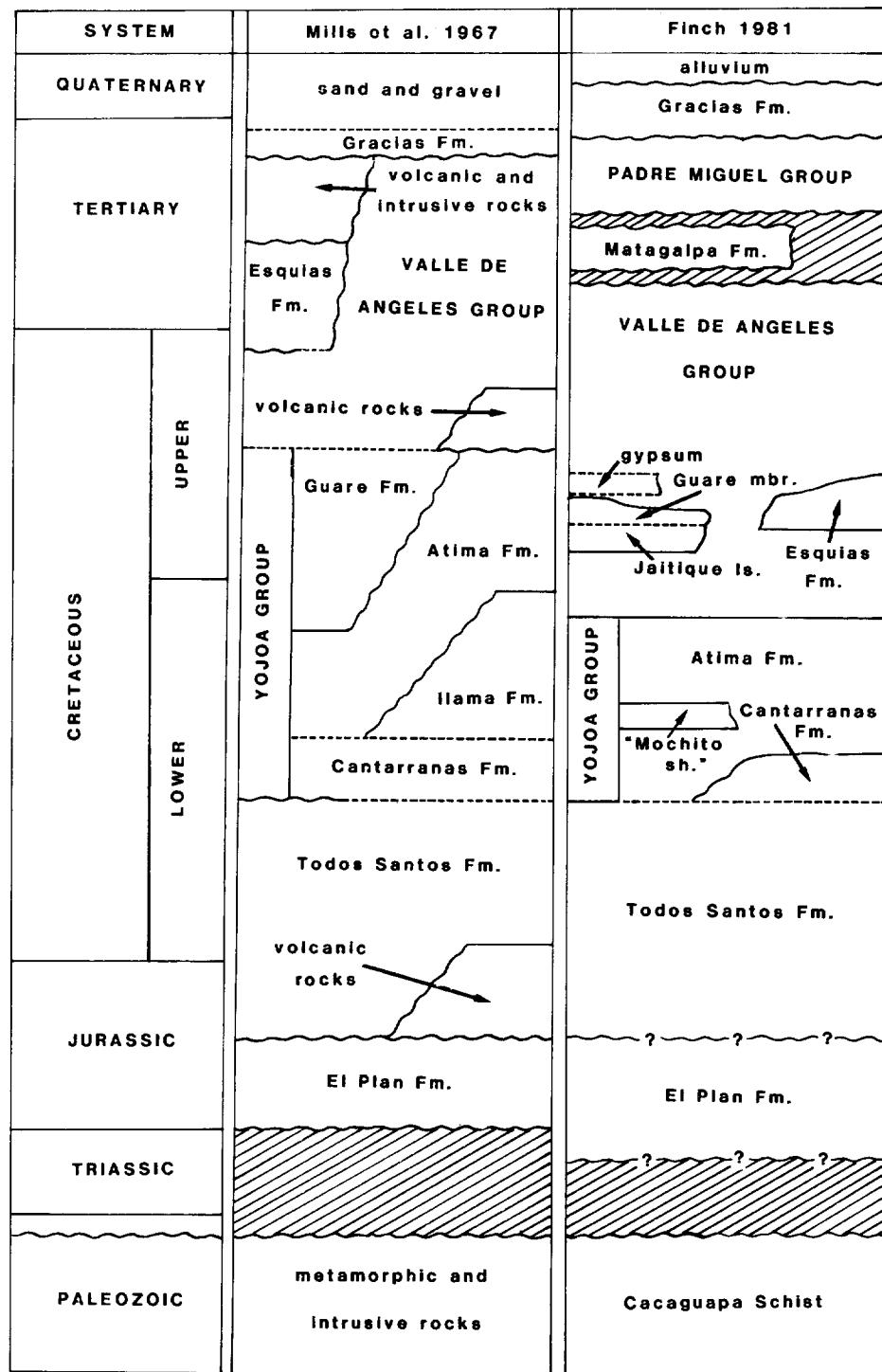


Figure 2. Estratigrafía general, emplazamiento geotérmico Platanares.

La parte inferior de la columna estratigráfica del Grupo Padre Miguel aflora en el curso superior de la Quebrada de Agua Caliente (Fig. 3). Consiste en lavas masivas andesíticas, con base vidriosa de pórfido de color gris púrpura, conteniendo un 5% de hornablenda y 1% de fenocristales de feldespato de plagioclasa. Las lavas están cortadas por fracturas llenas de cuarzo y por diques delgados (<10 cm) de una andesita de color gris más claro. En esta área, la subunidad inferior de toba parece encontrarse en contacto deposicional sobre la andesita. Cuando el contacto se observa en la Quebrada del Agua Caliente, se encuentra fuertemente silicificado. Esta subunidad tiene más de 50 m de espesor y está formada por toba de grano fino de color blanco, con menos de un 5% de fenocristales pequeños y ocasionalmente fragmentos líticos. La toba contiene lentes de grava interestratificada, que consisten principalmente de fragmentos redondos de pómex y guijarros de andesita.

Las tobas de grano fino de color blanco se encuentran cubiertas por una secuencia de depósitos de flujo piroclástico. La mayoría, de color blanco a crema, son unidades masivas, ligeramente estratificadas. La mayoría tiene menos de un 5% de fragmentos líticos, los cuales son en su mayor parte lavas andesíticas. Algunos estratos de tobas se encuentran cruzados por diques clásticos. Ninguno está soldado y todos muestran un cierto grado de reemplazo por arcillas y zeolitas.

Una unidad diferente, que podría utilizarse como indicador estratigráfico para la área, contiene un 25% de fragmentos líticos de color verde oscuro (1 cm de largo). Esta unidad se encuentra expuesta a lo largo de la ladera oriental de la Quebrada de Agua Caliente y en el Manantial No. 3, el cual se describe en la Sec. V.

La mayor parte de las unidades de flujo piroclástico se encuentran separadas por lentes de grava consistentes de fragmentos líticos reprocesados de las unidades subyacentes. Estos conglomerados interestratificados son indicadores útiles a través de las numerosas fallas que cortan la sección.

La secuencia superior de toba expuesta en Platanares es muy particular. Estas tobas de grano fino, de color gris, consisten de una unidad basal, pobemente estratificada, de 25 cm de espesor; de toba de grano muy fino, excepcionalmente con lapilli acrecional de hasta 1,5 cm de diámetro. Le

STRATIGRAPHIC SEQUENCE, QUEBRADA DEL AGUA CALIENTE

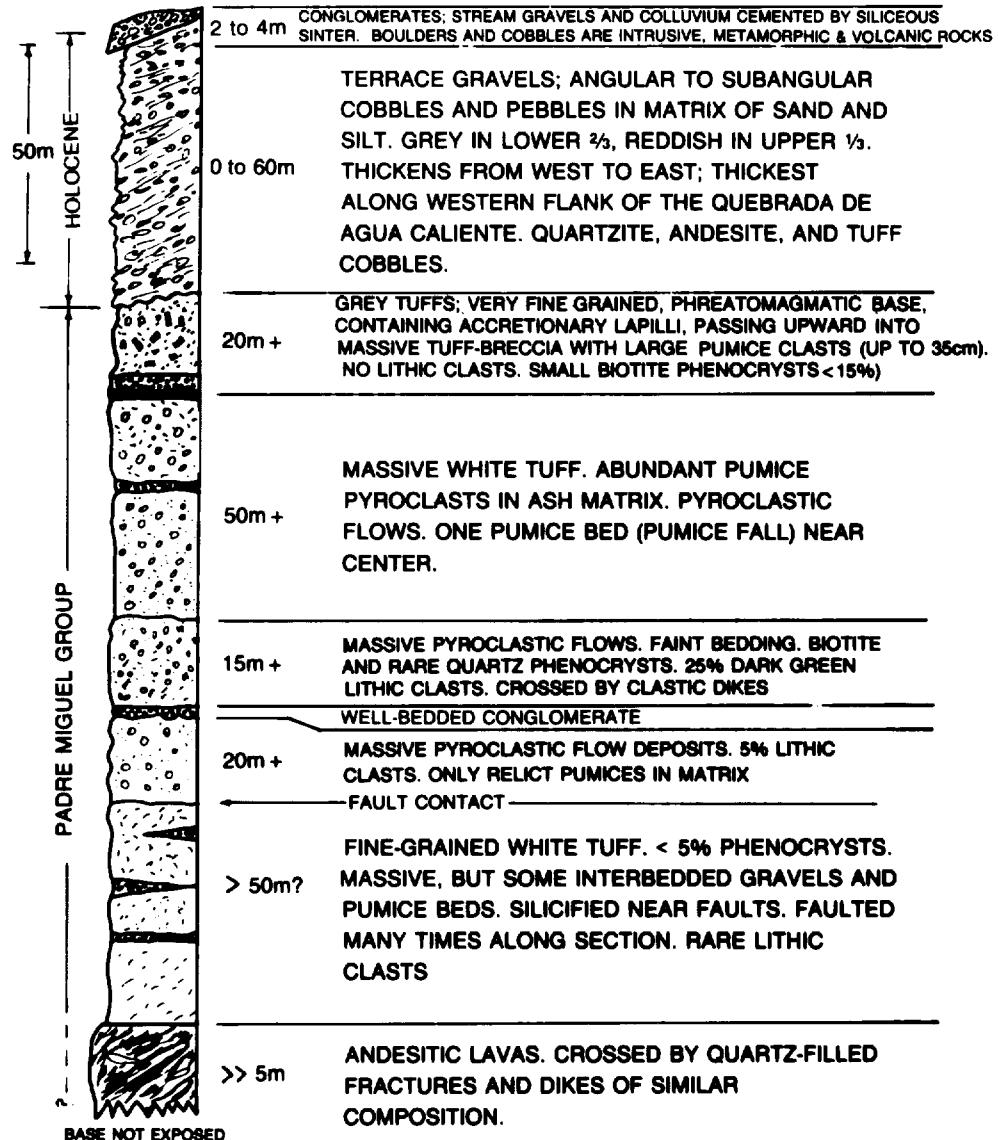


Figure 3. Corte estratigráfico de las rocas del Grupo Padre Miguel, expuestas en la Quebrada del Agua Caliente y en las proximidades.

sobre yace una unidad gradada de 2 a 5 m de espesor, que consiste de abundante lapili acrecional de 1 cm de diámetro en una matriz de ceniza muy fina. Estos lapili, a su vez, son sobre yacidos por más de 4 m de toba brechada masiva que consiste de grandes clastos de pómex (de hasta 35 cm) en una matriz de ceniza, gris de grano medio. Esta unidad rica en pómex se grada a un flujo piroclástico de color canela, no obstante la evidencia de campo para dicha gradación está complicada por fallamiento.

Unidades similares de rocas se encuentran expuestas a lo largo del Río Lara, al suroeste de Platanares (Fig. 4). Sin embargo, allí, tobas masivas y de grano fino que contienen lapili acrecional y estratos de toba vesicular son las rocas más comunes del Grupo Padre Miguel. Estas y muchas de las tobas que se encuentran a lo largo de la Quebrada del Agua Caliente parecen tener un origen freatomagmático debido a su naturaleza de granos extremadamente finos, a la presencia de lapilli acrecionario, a la estratificación masiva, y a la pobreza general de fragmentos de pómex. Inclusive las unidades de flujo piroclástico tienen abundantes matrices de grano fino lo que sugiere un origen freatomagmático. La importancia de este origen de las tobas expuestas en la área de Platanares no se puede apreciar plenamente debido a que no se localizaron chimeneas a través de las cuales se expulsaron los productos volcánicos.

Todas las unidades de toba se encuentran fuertemente silicificadas cerca de las fallas principales. Tobas silicificadas frágiles están cruzadas por numerosas fracturas que comúnmente se llenaron de calcita. Muchas fallas son visibles en fotografías aéreas debido a las salientes resistentes de toba silicificada que las rodean. La toba fracturada y silicificada puede ser una importante roca de reservorio ya que las fracturas muestran signos de estar abiertas y permitir el flujo de líquidos durante cierto tiempo. El alcance de la alteración hidrotérmica en las tobas silicificadas, las fracturas abiertas visibles en el afloramiento, y los manantiales que surgen de la toba silicificada en la zona superior de la Quebrada del Agua Caliente respaldan esta conclusión.

B. Depósitos Cuaternarios

1. Depósitos de Terraza. El pueblo de Platanares y su pista de aterrizaje abandonada, están ubicados sobre un depósito de terraza de 1,0 por

STRATIGRAPHIC SEQUENCE, LOWER RÍO LARA (APPROXIMATE THICKNESSES)

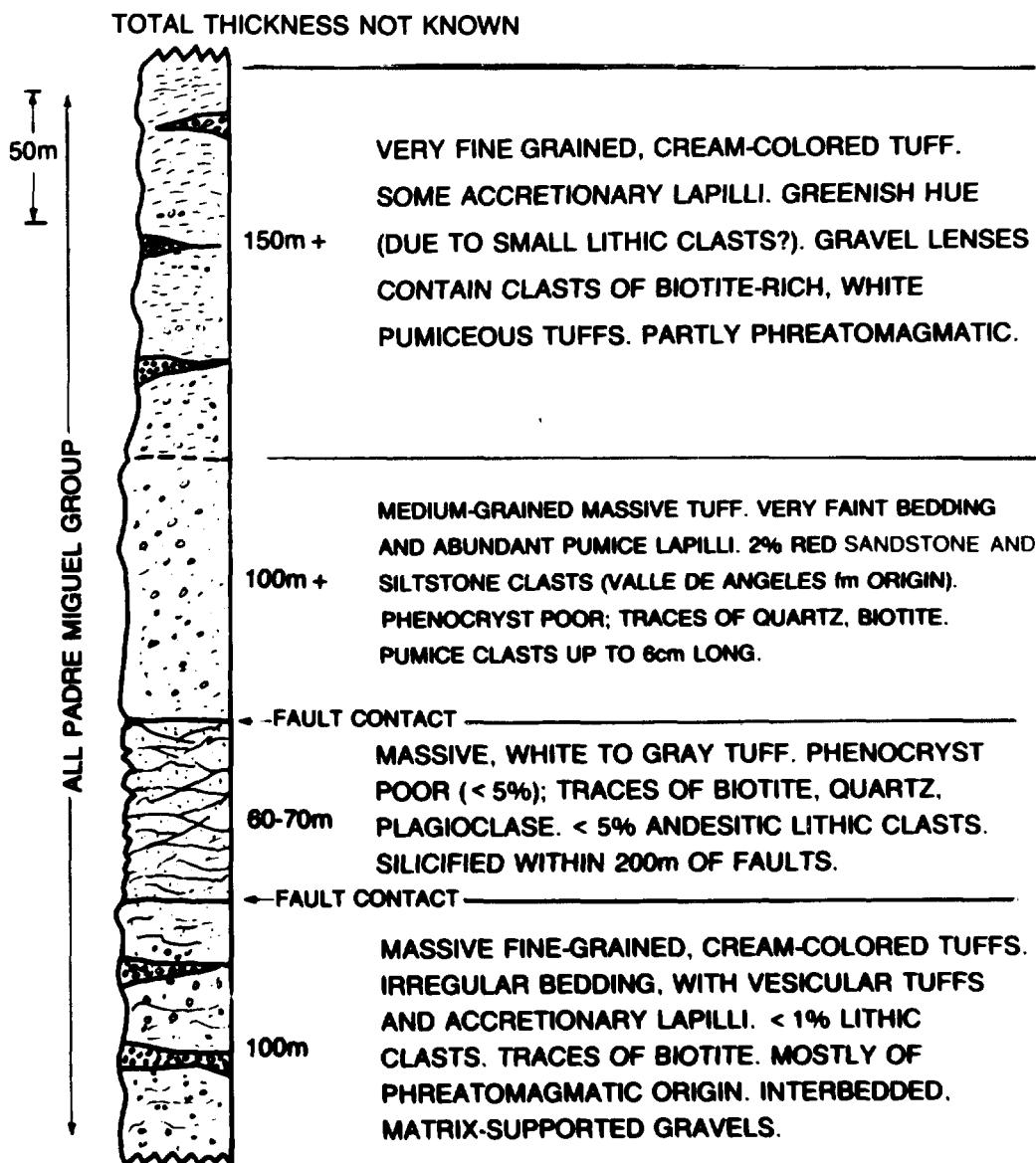


Figure 4. Corte columnar estratigráfico de las rocas del Grupo Padre Miguel, expuestas en el Río Lara, al suroeste de Platanares.

1,25 km, que también forma los declives al suroeste de la Quebrada del Agua Caliente. La superficie se inclina levemente con un ángulo de aproximadamente 3,5° hacia el sureste desde una elevación de 800 a 740 m.

La terraza consiste de un estrato de hasta 60 m grueso frente a rocas fundamentales del grupo de Padre Miguel. El depósito consiste de gravas levemente estratificadas formadas por cantos rodados y guijarros angulosos a subangulares, principalmente cuarcita, andesita, pizarra y toba. La parte superior, correspondiente a un tercio de este depósito, es de color rojizo.

Una terraza más baja se encuentra en el lado sureste de la área, cartografiada cerca de la desembocadura de la Quebrada de Agua Caliente, en el Río Higuito. Esta terraza tiene un declive hacia el sureste desde una elevación de aproximadamente 700 m y se presume que es más reciente que la terraza de Platanares.

Las terrazas indican que la área de Platanares ha experimentado levantamiento y corte por el río en la era Cuaternaria. La posición de estas terrazas a lo largo de declives con dirección norte-sur, la composición de las rocas de basamento y Terciarias reprocesadas de las montañas cercanas, y la disposición casi horizontal indican que su formación está relacionada con la fase más reciente de fallas de hundimiento en dirección norte-sur, según se analiza en la Sec. IV.

2. Conglomerado sinterizado. Cubriendo discordantemente las tobas a lo largo de la Quebrada del Agua Caliente, hay conglomerados consolidados por sílice sinterizada. Estos depósitos consisten de fragmentos redondos a subredondos, con tamaños que van de piedras grandes a cantos rodados y que forman la estructura de apoyo. Estos conglomerados se encuentran interestratificados con areniscas gruesas. Los tipos de rocas incluyen metamórficas, intrusivas, clásticas de estrato rojo y rocas volcánicas (lavas) y representan casi todas las litologías expuestas a lo largo de los nacientes del río. Los conglomerados y los terrenos coluviales se encuentran estrechamente consolidados por sílice sinterizada. Forman bordes sobresalientes y formaciones ocasionales de cubierta por las emanaciones de los manantiales de agua caliente, pero también pueden estar penetrados por manantiales, especialmente en la área principal de los manantiales número 12 a 16. Las gravas más recientes, producidas por el río observadas en e la área

principal de manantiales, están consolidand se activamente por sílice sinterizada.

IV. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Las rocas que se encuentran en la área de Platanares han sido afectadas y parecen ser de naturaleza extensional. Dichas rocas no se encuentran plegadas y no existe evidencia de compresión post-Paleozoica.

Las fallas y los sistemas de fracturas vinculados pueden clasificarse por su dirección, en cuatro grupos, indicados a continuación del más antiguo al más reciente, y determinados por relaciones planimétricas de cortes transversales.

ESTA-OESTE: rumbo N80°E a N70°O, buzamiento 60°SO a 75°NE

NOROESTE: rumbo N30°O a N60°O, buzamiento 50°NE a 60°NE

NORESTE: rumbo N40°E a N65°E, buzamiento 60°NO a 80°NO

NORTE-SUR: rumbo NO° a N5°O, buzamiento vertical a 60°NE

La existencia de planos de fricción, estribaciones menores y arrastre en todas estas fallas indican un movimiento normal. Las excepciones son dos de las fallas ESTE-OESTE, que contienen algunos planos de fricción subhorizontales además de los planos de friccion subverticales más comunes. En estas fallas, es de esperar un deslizamiento normal porque Honduras ha estado sujeta a extensión regional desde, por lo menos, la era del Mioceno Medio (Dengo y Bohnenberger, 1969).

La rotación de los bloques entre las fallas ha dado como resultado una variedad de posiciones de las rocas estratificadas que se encuentran en la área. A esta rotación se le superpone un movimiento regional de rumbo noroeste y buzamiento suroeste en las rocas del Grupo Padre Miguel. Debido a estos movimientos, pueden encontrarse buzamientos algo más leves en estas fallas a mayor profundidad, particularmente en las fallas más pequeñas, y es probable que las fallas extensionales tengan una naturaleza lístrica, como se ilustra en los cortes transversales (Lámina 2). Aparentemente, debido al arrastre de las fallas, los buzamientos estratigráficos inmediatamente adyacentes a las fallas pueden aproximarse a uno posición vertical. En todas las demás áreas, los buzamientos en las tobas tienen menos de 60° y la mayoría cae dentro de los 20° a los 30°.

Las fallas con dirección ESTE-OESTE forman el grupo más antiguo de los cuatro. Los más jóvenes son los de dirección NORESTE y NOROESTE. En general, las fallas con dirección NORESTE parecen ser las más modernas de las dos según se observa en el levantamiento de las estribaciones (Lámina 1). Las de dirección NORTE-SUR son las más jóvenes y cortan a todas las otras fallas. El rumbo N05°0 de las fallas es paralelo a la dirección de las fallas colindantes del Mioceno y más modernas, pertenecientes a estructuras de hundimiento regionales, tales como el hundimiento Sula en el norte-central de Honduras. Se cree que estos hundimientos regionales son características estructurales Recientes (Everett y Fakundiny, 1969; Dengo y Bohnenberger, 1969; Plafker, 1976).

El control estratigráfico es insuficiente para medir con precisión el grado de desplazamiento en estas fallas con excepción de la área donde las fallas con dirección NORESTE cortan la andesita en la Quebrada del Agua Caliente. Aquí, el contacto superior de la andesita se encuentra cartografiado, y pueden inferirse estribaciones ascendentes de decenas de metros hacia el sureste a lo largo de las extensiones de las fallas. Esta relación indica que la andesita es de 50 a 100 m de grueso, y así podrá satisfacer las características topográficas para el contacto casi horizontal de la andesita. Este espesor compara favorablemente con los 80 m de andesita alterada en contrado en la mina cercana de San Andrés.* Sin embargo, en la mayor parte de la área, las fallas tienen lugar completamente en las tobas del Grupo Padre Miguel, las cuales tienen probablemente un espesor de 300 a 500 m, según ha sido determinado por los cálculos de espesor mínimo realizados a partir de mediciones estratigráficas y del trabajo efectuado por Williams y McBirney (1969). Las fallas que limitan los afloramientos del grupo Valle de Angeles y las rocas de basamento Paleozóico al oeste de Platanares requieren desplazamientos relativamente grandes, aún más de 500 m para rocas Paleozoicas, para que puedan terminar en contacto con rocas del Grupo Valle de Angeles.

Los grupos de fracturas expuestas en el Río Lara y en la Quebrada del Agua Caliente, especialmente en la área de actividad principal de los manantiales, merecen una mención especial. Dentro de este grupo de fallas con

* Esta información fue provista por J. Campbell, Minerales de Copán, San Andrés, 1985.

dirección NOROESTE, existe un subgrupo de fracturas con buzamiento vertical a noreste pronunciado de N45°0, que parecen tener poco o ningún desplazamiento. Tienden a aparecer líneas de manantiales de agua caliente a lo largo de este curso N45°0. Estas fracturas en las rocas de superficie pueden representar la extensión ascendente de fracturas fundamentales en rocas más antiguas a mayor profundidad. Si esta hipótesis es correcta, estas fracturas pueden constituir los conductos principales para que las aguas termales suban desde la profundidad y, por consiguiente, para que salgan a la superficie a lo largo de las fracturas abiertas relativamente jóvenes con dirección NOROESTE, y de las fallas abiertas relativamente jóvenes con dirección NORESTE y NORTE-SUR. Como alternativo, las fracturas pueden ser simplemente la respuesta de las rocas cercanas a la superficie a la zona relativamente densa de intersecciones de fallas en la quebrada, como se observa en los cortes transversales (Lámina 2). Nosotros preferimos la primera hipótesis debido a que la presencia regional de una sistema de fracturas semajantes con dirección tanto al oeste de Platanares como al noroeste de la área estudiada. Flores (1980), de hecho, realizó la planimetría de las fracturas noroccidentales considerándolo como un gran sistema de fallas noroccidentales a lo largo de la quebrada. Se suponía que este sistema de fallas era el principal localizador estructural de manantiales de agua caliente en la área. Más probablemente, esta dirección noroeste es una característica estructural profunda y relativamente más antigua, que en la actualidad se manifiesta en las rocas de superficie por medio de un sistema de fallas ESTE-OESTE, NOROESTE, NORESTE y NORTE-SUR.

Control estructural de los manantiales de agua caliente y las fumarolas

Todos los manantiales de agua caliente en esta área se encuentran a lo largo de fallas que han sido descritas anteriormente. Los manantiales de agua más caliente, dentro de la área, se encuentran en ebullición a lo largo de fracturas con dirección noroeste. Surgen manantiales a lo largo de fallas y fracturas en y cerca del curso de la Quebrada del Agua Caliente (Lámina 1 y 3). La mayoría salen a la superficie directamente, pero otros se filtran lateralmente a cortas distancias debajo de rocas cubiertas de conglomerado sinterizado o toba silicificada. En las cascadas, los manantiales de agua caliente fluyen lateralmente a lo largo de planos de estratificación en la toba silicificada.

Los manantiales de agua tibia examinados en el Río Lara se encuentran cerca de la intersección de una falla importante, con dirección N80°E, y de tobas silicificadas vinculadas con un sistema de fracturas de dirección NO.

V. DESCRIPCION DE LOS MANANTIALES

En las secciones siguientes, se describen los manantiales de agua caliente y algunas de las ocurrencias geológicas de vapor y agua caliente cerca de Platanares, específicamente a lo largo de la Quebrada del Agua Caliente. Los manantiales están ubicados, en términos generales, a lo largo de un curso noroeste entre las coordenadas 934323 y 921334, según el mapa UTM (Proyección Transversal Universal Mercator). En cada manantial, se midieron y obtuvieron el promedio de las temperaturas del agua; se calcularon los gastos cuando era posible; y se registraron las observaciones geológicas con respecto a la litología y la estructura. Las ubicaciones relativas de cada manantial con descripciones resumidas se observan en un mapa que fue realizado por medio de mediciones con cintas de agrimensor y coordenadas de brújula (Lámina 3).

Descripciones de los manantiales

Manantial 1

Esta filtración es la manifestación de agua caliente ubicada más al sur, medida en la quebrada. Consiste de dos estanques sobre la orilla este del río; las dimensiones del estanque que se encuentra más al este son 1 por 2 m y las del estanque que se encuentra al oeste son 1 por 2,5 m. Los estanques se alimentan por manantiales sumergidos y son de conglomerado silicificado, de grano grueso. El conglomerado es una roca común a lo largo de la quebrada (analizado en la Sec. III.B.2). En esta ubicación, el conglomerado está sostenido por una matriz y tiene fragmentos redondos cuyas dimensiones varían entre aproximadamente 1 m y las dimensiones de la arena. Además de estos estanques, varias filtraciones de agua templada surgen del flanco este de la quebrada a niveles de aproximadamente un metro sobre el río, donde el grado de silificación disminuye hacia arriba. No se observaron fallas o fracturas en este emplazamiento. Algas de color naranja y verde cubren el fondo de ambos estanques; un poco de vapor se produce en la superficie de estos.

Temperatura (manantial): 50°C (122°F)

Temperatura (río): 38°C (100°F)

Indice de descarga: 2-5 l/min

Grupo de Manantiales 2

Esta ubicación tiene tres manantiales separados que descargan a lo largo de una línea aproximadamente norte-sur, que se extiende desde la ladera oriental de la quebrada. El Manantial 2 fluye de la pared de la quebrada a través de una roca tobácea de color entre canela y amarillento, de grano fino, la cual es afírica y no contiene fragmentos líticos o de piedra pómex. El Manantial 2a está ubicado 25 m al norte del río y el Manantial 2b está ubicado 50 m al norte. Ambos manantiales surgen de un conglomerado de piedras grandes silicificadas y parecen estar ubicados a lo largo de una dirección N20°E (falla). El Manantial 2 es una fumarola pequeño con vapor húmedo y descarga de agua y tiene una pequeña cantidad de sílica sinterizada depositada alrededor de la salida. El Manantial 2a es un área donde el suelo emite vapor y hay una descarga reducida de agua. El Manantial 2b es un manantial de agua en ebullición con una descarga reducida de vapor y alteración silícica alrededor de la salida.

Temperatura (manantial): No. 2 - 99°C (211°F)
No. 2a - no registrada
No. 2b - 96°C (205°F)

Temperatura (río): 33°C (92°F)

Indice de descarga: No. 2 1 1/5 ℥/min
No. 2a - <1 ℥/min
No. 2b - 10 ℥/min

Manantial 3

Se ha formado un pequeño estanque de menos de 50 cm de diámetro sobre un manantial de agua caliente que fluye desde la base de la pared occidental de la quebrada y de la intersección de una falla a N60°O y un estrato inclinado de piedra pómex permeable, en una secuencia de flujos piroclásticos. Los flujos piroclásticos generalmente son de color entre canela y verde y claro tienen alrededor de un 30% de fragmentos líticos y pequeñas piedras pómex (<0,5 cm), una roca similar a la descrita en la Sec. III.A. como toba verde.

Temperatura (manantial): 98°C (208°F)
Temperatura (río): 44°C (112°F)
Indice de descarga: 6 ℥/min

Manantial 4

Este pequeño manantial surge de un estrato de toba que se encuentra aproximadamente a 0,5 m por debajo de una superficie en contacto con el conglomerado suprayacente de clastos grandes. El orificio del manantial está ubicado en una falla visible con rumbo N40°O, y el manantial forma un estanque pequeño de aproximadamente 20 cm de diámetro debajo de una capa de conglomerado de clastos grandes silificados.

Temperatura (manantial): 88°C (190°F)

Temperatura (río): 39°C (103°F)

Indice de descarga: 5 l/min

Grupo de Manantiales 5

Este grupo de tres manantiales está vinculado a un notorio escarpe de falla con rumbo a N30°O. Los tres manantiales surgen de tobas masivas que se han deslizado hacia abajo. El manantial inferior forma un estanque de aproximadamente 7 m de largo y 1,5 m de ancho, alimentado por numerosas salidas burbujeantes y filtraciones menores a lo largo del declive de la falla. Los dos manantiales superiores se encuentran aproximadamente 10 m hacia arriba y 40 m al noroeste del manantial inferior. Uno de estos manantiales forma un estanque burbujeante con una cantidad reducida de sílice sinterizada y algas negras, y el otro manantial es de agua tibia sin depósitos sílicos.

Temperatura (manantial): 99°C (210°F)

Temperatura (río): 41°C (106°F)

Indice de descarga: 5 l/min (manantial superior)

10 l/min (manantial inferior)

Manantial 6

El medio geológico es casi el mismo del Grupo de Manantiales No. 5.

Temperatura (manantial): 100°C (212°F)

Temperatura (río): 41°C (106°F)

Indice de descarga: 4 l/min

Manantial 7

El manantial surge de terreno aluvial de origen reciente; no hay lechos de roca expuestos visibles. Forma estanques pequeños y se filtra entre las gravas del río; hay algas de color negro y verde.

Temperatura (manantial): 63°C (145°F)

Temperatura (río): 41°C (106°F)

Indice de descarga: <5 l/min

Manantial 8

Un solo manantial surge de la intersección de una fractura y planos estratificados en la unidad de toba masiva. Se encuentra en ebullición con una descarga en chorro aproximadamente cada 5-10 s.

Temperatura (manantial): 99°C (210°F)

Indice de descarga: >10 l/min

Grupo de Manantiales 9

Los manantiales cubren una amplia área en la orilla norte del río, extendiéndose al norte a lo largo del río en una dirección de aproximadamente N45°0. Los manantiales al nivel del río brotan de planos estratificados en unidades de toba masiva que se han deslizado hacia abajo. Además, hay una sola fumarola de vapor húmedo en la superficie del río. Al norte del río y topográficamente sobre la misma, hay varias fumarolas que surgen a lo largo de fracturas en la unidad de toba. Estas fracturas tienen una dirección de N45°0 y se encuentran en zonas de la toba que parecen haber sido cortadas y fracturadas.

Temperaturas (manantiales): 88°-98°C (190°-209°F)

Indice de descarga: no registrada

Grupo de Manantiales 10

Varios manantiales y vapor húmedo surgen de un bloque de toba que se ha deslizado hacia abajo y que tiene aproximadamente un 5% de fragmentos líticos. El vapor y los manantiales surgen a lo largo de fracturas con dirección N45°0, que se hallan en el bloque deslizado hacia abajo. Se ha depositado sílice sinterizada en los sedimentos del río alrededor de la base del bloque.

Temperatura (manantiales): 95°C (203°F)

Indice de descarga: 5 l/min

Grupo de Manantiales 11

Numerosas filtraciones se originan en fracturas subhorizontales en un conglomerado silicificado con fallas y en la parte superior de una falla con dirección 45°0, la que está cubierta de algas negras.

Temperatura (manantial): 87°C (189°F)

Temperatura (río): 38°C (100°F)

Indice de descarga: 9 l/min

Grupo de Manantiales 12

Todo el lado sureste del río entre los Manantiales 11 y 13 está compuesto de filtraciones y manantiales que surgen de fracturas horizontales en las gravas silicificadas y estratificadas del río. La dirección de las fracturas es de N45° a norte-sur. Un manantial de agua caliente adicional aparece en rocas litológicamente similares, en sentido transversal al río.

Temperatura (manantial): 66°C (151°F)

Indice de descarga: 9 l/min

Grupo de Manantiales 13

Los manantiales surgen a través de las gravas no consolidadas del río que se están silicificando rápidamente. La área de descarga es de aproximadamente 15 m de ancho por 25 m de largo; el eje largo es paralelo al canal del río. También hay algas verdes y negras dispersas.

Temperatura (manantiales): 92°C (198°F), 99°C (210°F), 99°C (210°F)

Indice de descarga: 2 l/min

Grupo de Manantiales 14

Manantiales y fumarolas forman uno de los grupos más calientes y más activos. La manifestación surge a través del conglomerado silicificado en una zona de 20 por 20 m. Tanto la sílice sinterizada como las algas negras prevalecen en toda la área.

Temperatura (manantial): 99°C (210°F)

Temperatura (río): 38°C (100°F)

Indice de descarga: 10 l/min

Manantial 15

Un gran manantial y una fumarola surgen de la intersección de la superficie de contacto entre conglomerado silicificado y toba masiva con una fractura de dirección N45°0. En la orilla opuesta del río, al norte de este

emplazamiento, una falla a N90°E corta el conglomerado silicificado. Algas negras y sílice sinterizada cubren las rocas en las proximidades.

Temperatura (manantial): 99°C (210°F)

Indice de descarga: 13 l/min

Grupo de Manantiales 16

Manantiales que arrojan chorros y fumarolas vinculadas a estos surgen de un conglomerado silicificado a lo largo de una linea que se extiende a N45°O de la ubicación 15.

Temperatura (manantiales): 94°C (202°F), 95°C (203°F), 99°C (210°F)

Temperatura (río): 36°C (97°F)

Indice de descarga: 10 l/min

Manantial 17

El manantial surge de la intersección de una falla con la superficie de contacto entre toba masiva y conglomerado silicificado.

Temperatura (manantial): No registrada

Temperatura (río): 36°C (97°F)

Manantial 18

El manantial está ubicado en estratos de toba masiva aproximadamente 5 m sobre el nivel del río. Se ha formado un extenso depósito sinterizado en la toba y el terreno aluvial que rodea al manantial.

Temperatura (manantial): 82°C (179°F)

Temperatura (río): 35°C (95°F)

Manantial 19

El manantial surge de conglomerado silicificado y ha formado una terraza sinterizada que está cubierta de algas verdes y negras.

Temperatura (manantial): 74°C (165°F)

Manantial 20

El manantial es tributario del río principal, saliendo a la superficie a través de un estrato de toba silicificada aproximadamente 50 m al oeste del río principal.

Temperatura (río): 50°C (122°F)

Indice de descarga: 20 l/min

Manantial 21

Este pequeño manantial surge de la superficie de contacto entre estratos de toba y conglomerado silicificado aproximadamente 3 m sobre el lecho del río.

Temperatura (manantial): 71°C (160°F)

Indice de descarga: 2 l/min

Manantial 22

El manantial forma un estanque de agua tibia verde y legamosa en una unidad de toba masiva. La toba contiene abundantes fragmentos líticos de color verde.

Temperatura (manantial): 41°C (106°F)

Manantial 23

Este manantial se encuentra en terreno aluvial parcialmente silicificado, en un estanque debajo de la cascada. Aunque el manantial se produce en un conglomerado silicificado, las unidades superiores e inferiores son tobas silicificadas, que surgen del risco por encima el cual fluye el río en una falla principal.

Temperatura (manantial): 60°C (157°F)

Indice de descarga: 4 l/min

Manantial 24

Un manantial en ebullición surge de una fractura subhorizontal aproximadamente 10 m sobre el nivel del estanque. Las paredes que se encuentran debajo del manantial están cubiertas por algas verdes y negras y sílice sinterizada.

Temperatura (manantial): No registrada

Indice de descarga: <5 l/min

Manantial 25

Este manantial surge de piedras grandes en una gruta que se encuentra aproximadamente 20 m al oeste del río principal. Consiste de agua tibia vinculada con un dique silícico con dirección N90°E que ha penetrado un flujo de lava de andesita silicificada. La andesita masiva es de color púrpura y las fracturas han sido llenas por sílice microcristalina de color blanco. En una muestra, la roca tiene aproximadamente un 15% de fenocristales de feldespato, un 5% de minerales máficos no identificados, y un 80% de base vidriosa de pôrfido microcristalina. El dique está formado por sílice

microcristalina de color blanco y tiene aproximadamente 30 cm de ancho. El manantial tiene abundantes algas negras y verdes.

Temperatura (manantial): 38°C (100°F)

Indice de descarga: 20 l/min

Manantial 26

El manantial sale a la superficie a lo largo de la superficie de contacto entre lava de andesita y una toba superior de color amarillo-naranja. Es un manantial burbujeante que tiene depósitos de sílice sinterizada.

Temperatura (manantial): 98°C (208°F)

Indice de descarga: 5 l/min

Manantial 27

Este manantial también surge de la superficie de contacto entre lava de andesita y toba. Más bien consiste de un grupo de manantiales burbujeantes de agua caliente sobre ambos lados del río que han depositado sílice sinterizada sobre las paredes del cañón y en los cuales crecen algas negras y verdes.

Temperatura (manantial): 94°C (202°F)

Temperatura (río): 39°C (103°F)

Indice de descarga: 2-3 l/min

Grupo de Manantiales 28

Surgen manantiales de ambos lados del río en lavas andesíticas y depósitos de sílice sinterizada que ocultan el tipo de roca subyacente. Se encuentran alineados en una dirección N45°E cortada por una falla de dirección norte-sur a lo largo de la cual fluye el río.

Temperatura (manantiales): 88°C (190°F), 92°C (198°F), 99°C (210°F)

Temperatura (río): (sobre los manantiales) 20°C (68°F)

Indice de descarga: >10 l/min

VI. CAPICIDAD TERMICA Y POSIBLES FUENTES DE CALOR

Para calcular la magnitud de la fuente de calor en Platanares medimos las temperaturas y los gastos en los 28 manantiales analizados con anteriormente. Más de la mitad de estos manantiales se encontraban en temperatura de saturación o próximo a ella; sin embargo, sólo se observaron pequeñas cantidades de flujo de vapor. Aún así, la abundancia de agua en ebullición

evidencia una anomalía térmica mensurable en área. A partir de los datos que figuran en la Tabla I, podemos calcular la energía térmica entre 0,7 y 1,0 MW. La superficie total sobre la cual emanan estos manantiales a lo largo de la Quebrada del Agua Caliente (noroeste, 2 km²) y el flujo de energía térmica estimado sugieren la existencia de una área de flujo de calor relativamente elevado.

Aguas arriba de los manantiales de agua caliente observados en la Quebrada del Agua Caliente, miles de litros por minuto de agua a una temperatura de 21°C fluvian durante el trabajo de campo realizado en mayo de 1985. Aguas abajo, las temperaturas promedias (Tabla I) eran aproximadamente 37°C, lo que indica un aumento de la energía térmica de la fuente en el orden de varios megavatios. Debido a que este cálculo es mayor que el valor integrado para los manantiales de agua caliente registrados que figuran en la Tabla I, debe haber una contribución significativa por parte de manantiales no registrados que se encuentran sumergidos en el lecho del río.

Las observaciones de campo no revelan el grado de flujo de los manantiales de agua caliente causado por el aumento de la condensación de vapor producido por este último, la emanación artesiana de agua caliente, y la mezcla de agua subterránea fría en los manantiales de agua caliente. Sin embargo, los datos geoquímicos deberían ofrecer interpretaciones de los orígenes del agua caliente. Debido a que sólo se observó un flujo reducido de manantiales de agua caliente en el Río Lara y los residentes locales no indicaron que el agua de los manantiales es generalmente tibia en la área, parece probable que la Quebrada del Agua Caliente es la área de mayor flujo.

Se están considerando dos orígenes del agua caliente, y podrán aplicarse otros cuando tengamos un mayor conocimiento sobre la composición química del agua. En Platanares, es posible el calentamiento del agua subterránea por circulación profunda y elevación convectiva en áreas muy fracturadas, debido al flujo local de calor elevado y a la evidencia de un sistema de fallas más antiguas y sumergidas, que atraviesan la área con una dirección noroeste, y debido a 10⁷ años de extensión regional. Por otra parte, la abundancia de tobas silicificadas y la andesita hidrotérmicamente muy modificada, presente en la mina de San Andrés, son evidencia fósil de los sistemas geotérmicos activos existentes en la área de Platanares durante millones de años.

TABLA I. CAPACIDAD TÉRMICA

		<u>Temperatura</u>		Flujo ^a l/min (gal/s)	Energía Térmica ^b KW
Manantial No.	°C del Manantial (°F)	°F del río			
1	49 (120)	100	2-5	(32-83)	3.2-8.4
2	99 (211)	92	1-5	(16-83)	4.0-25.8
2b	96 (205)	92	10	(166)	49.5
3	98 (208)	112	6	(100)	30.6
4	88 (190)	103	5	(83)	21.9
5					
6	94 (202)	106	4	(67)	19.4
7	63 (145)	105	<5	(<83)	13.2
8	99 (210)		>10	(>166)	51.6
9b	88 (190)				
9c	98 (209)		~15	(250)	66.1
10	95 (203)		--		--
11	87 (189)	100	7	(117)	30.5
12	66 (151)		9	(150)	25.8
13	99 (210)		2	(32)	9.9
14	99 (210)	100	10	(166)	51.6
15	99 (210)		13	(217)	67.4
16	99 (210)	97	10	(166)	51.6
17	-- 97	--	--		
18	82 (179)	95	~1?	(16)	3.8
19	74 (165)		~1?	(16)	3.3
20	50 (122)		>20	(333)	34.9
21	71 (160)		~2	(32)	6.2
22	41 (106)		--		--
23	69 (157)		3-4	(50-66)	9.2-12.2
24	boiling 90-100	~5		(83)	25.8
25	38 (100)		20	(333)	18.2
26	98 (208)		~1	(16)	4.9
27	94 (202)	103	2-3	(32-50)	9.3-15.3
28	93 (200)		10	(166)	47.4
TOTAL	(mínimo)	174-184	660-700		
	(máximo)	270	1,000		

^aLos flujos calculados se consideraron como valores mínimos, y los valores máximos son superiores en aproximadamente un 50%.

^bEnergía térmica = flujo x $C_p (T_{H_2O} - T_{ref})$, donde $C_p = 4.2 \text{ J/g}$ y T_{ref} = medio ambiente $\approx 25^\circ\text{C}$.

Probablemente, estos sistemas geotérmicos fósiles están relacionados con la intrusión de magma, la cual es evidente en la mina de San Andrés donde un bloque de andesita ha efectuado una intrusión y ha modificado lavas andesíticas*. Por lo tanto, debe considerarse la posibilidad de que hayan ocurrido en la área intrusiones más recientes a mayor profundidad. Si se encuentran en Platanares, debilidades relativas de la corteza, puede esperarse que existan intrusiones de origen profundo.

Orificios térmicos inclinados, ubicados cerca de la quebrada, pueden servir para contestar las preguntas con respecto a si el flujo de calor en Platanares es una manifestación artesiana del flujo de calor regional o si es un sistema localizado por un fuerte flujo convectivo que surge desde la profundidad.

VII. RECOMENDACIONES SOBRE LA RESISTIVIDAD ELECTRICA Y LOS POZOS DE GRADIENTE

Aún después de este estudio de campo no se comprende completamente la estratigrafía de la área de Plantanares. Sólo se han medido las superficies expuestas del Grupo Padre Miguel, y se desconocen los espesores y profundidades totales de las rocas Mesozoicas y Paleozóicas. Sin embargo, se han medido la ubicación de las fallas y el movimiento relativo a lo largo de las fallas en la área con cierto grado de certeza. La combinación de estos datos obtenidos en el campo con un examen detallado de resistividad eléctrica puede emplearse para interpretar los tipos de rocas que se encuentran bajo la superficie, particularmente porque los ensayos de resistividad en laboratorio pueden efectuarse en muestras tomadas de los estratos rojos del Valle de Angeles de los esquistos Paleozóicos. Ubicar las fallas por medio de un estudio geológico ayudaría entonces para determinar las características de la resistividad esperada de las zonas con permeabilidad controlada por fallas y fracturas, que contienen fluidos y materiales (arcillas) conductores.

Recomendamos que se extienda una línea de resistividad dipolo-dipolo, con una longitud nominal de 5 km, a lo largo de la Quebrada del Agua Caliente. La terraza de Platanares, al oeste de la quebrada, es relativamente plana en la mayor parte de la longitud de esta línea, y nosotros hemos construido nuestro

* Esta información fue proporcionada por J. Campbell, Minerales de Copán, San Andrés, 1985.

corte transversal geológico A-A' de manera que pueda utilizarse junto con los resultados de la planimetría.

Según se analizó en la Sec. VIII, varias preguntas sobre el flujo de calor pueden responderse con medidas en pozos de gradiente pozos perforados a varios cientos de metros debajo de Plantanares (sobre la terraza) suministrarían información sobre la contribución, si la hubiera, de un flujo lateral de agua caliente a lo largo de la superficie de contacto entre las rocas del Grupo Padre Miguel y las gravas de la terraza. Asimismo, el gradiente medido, proporcionaría datos sobre el flujo de calor a partir de los cuales podría calcularse la magnitud de la evidente anomalía en la Quebrada del Agua Caliente.

REFERENCES

- Burkart, B., 1965, Geology of the Esquipulas, Chanmaga, and Cerro Montecristo Quadrangles, southeast Guatemala [Ph.D. dissert.]: Houston, Texas, Rice University.
- Dengo, G., and Bohnenberger, R., 1969, Structural development of northern Central America, in Tectonic relations of Northern Central America and Western Caribbean: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem., II, p. 203-220.
- Dupré, W. R., 1970, Geology of the Zambrano Quadrangle, Honduras, Central America [M.A. thesis]: University of Texas at Austin, 128 p.
- Eppler, D., Fakundiny, R., and Ritchie, A., 1986, Reconnaissance evaluation of Honduras geothermal sites, Los Alamos National Laboratory report LA-10685-MS.
- Everett, J. R., and Fakundiny, R. H., 1969, Post-Paleozoic tectonic history of the Comayagua Valley region, Honduras, Central America: Geol. Soc. Amer. Abs. with Programs, Annual Meeting, p. 60-61.
- Finch, R., 1981, Mesozoic stratigraphy of Central Honduras: Amer. Assoc. Petrol. Geol., v. 65(7), p. 1320-1333.
- Flores, W., 1980, Geology of the Platanares area, Annex V, in Report of the activities and interpretation of results of the geothermal project of Honduras 1979-1980: Energy Programme of the Central American Isthmus, RLA/76/012.
- GeothermEx, Inc., 1980, Honduras, Central America Energy Program Phase II, Reconnaissance geochemical survey and interpretation of thermal spring waters and gases: Richmond, California.
- Gislason, G., 1980, Report of the activities and interpretation of results of the geothermal project of Honduras 1979-1980: Energy Programme of the Central American Isthmus, RLA/76/012, Empresa Nacional de Energía Eléctrica, v. 1.
- Mills, R. C., Hugh, D. E., Feray, D. S., and Swolfs, H. C., 1967, Mesozoic stratigraphy of Honduras: Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., v. 51, p. 1711-1786.
- Plafker, G., 1976, Tectonic aspects of the Guatemala earthquakes of 4 February, 1976: Science, v. 193, p. 1201-1208.
- Williams, H., and McBirney, A. R., 1969, Volcanic history of Honduras: University of California Publ. Geol. Sci., v. 85, p. 1-101.

Printed in the United States of America
Available from
National Technical Information Service
US Department of Commerce
5285 Port Royal Road
Springfield, VA 22161

Microfiche (A01)

Page Range	NTIS Price Code						
001-025	A02	151-175	A08	301-325	A14	451-475	A20
026-050	A03	176-200	A09	326-350	A15	476-500	A21
051-075	A04	201-225	A10	351-375	A16	501-525	A22
076-100	A05	226-250	A11	376-400	A17	526-550	A23
101-125	A06	251-275	A12	401-425	A18	551-575	A24
126-150	A07	276-300	A13	426-450	A19	576-600	A25
						601-up*	A99

*Contact NTIS for a price quote.

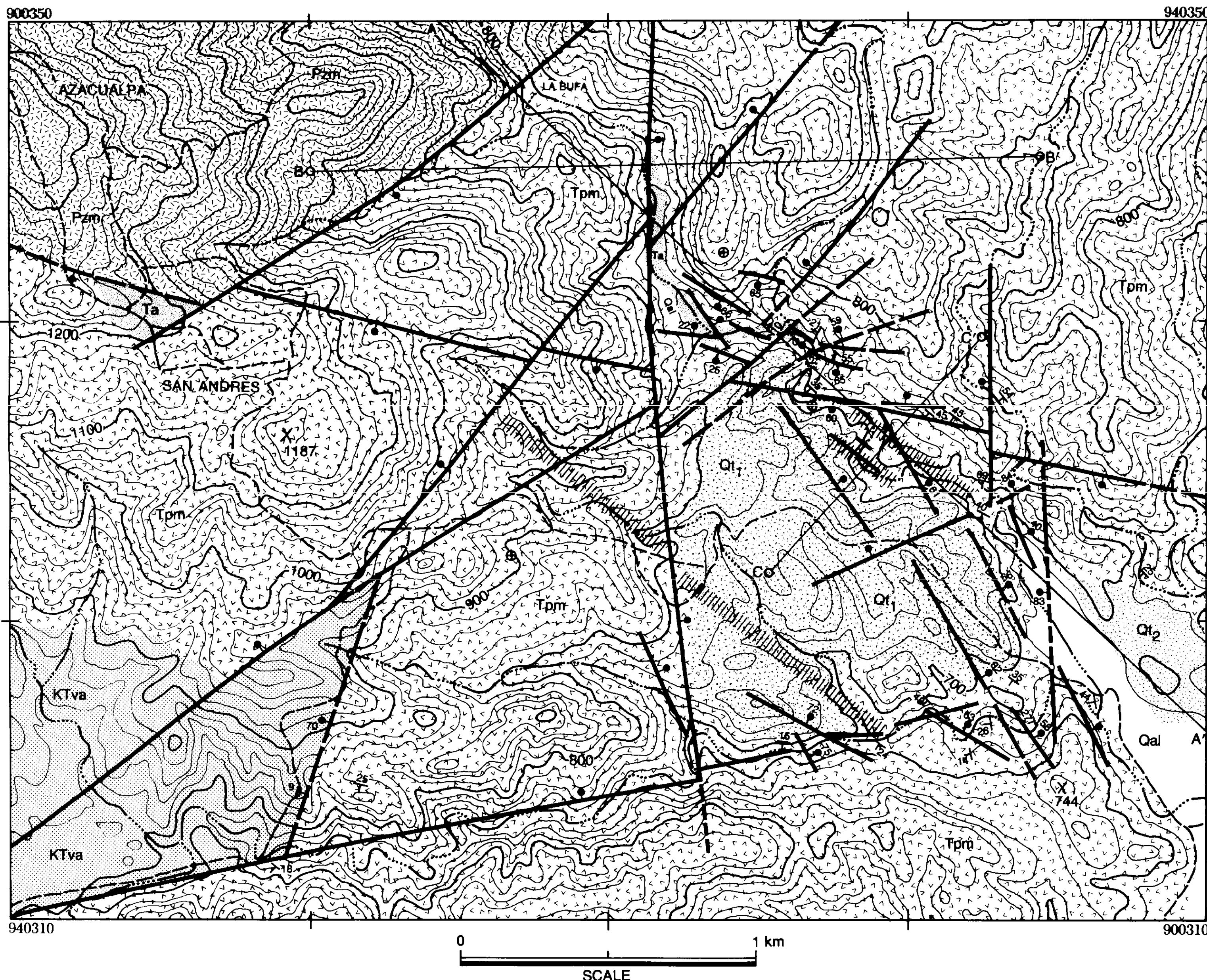
**PLATANARES GEOTHERMAL AREA
COPÁN, HONDURAS
MAY 1985: LOS ALAMOS - ENEE**

LOS ALAMOS K. WOHLERT
 G. HEIKEN
 D. EPPLER
 A. RITCHIE

ENEE { W. FLORES
N. RAMOS

PLATE 1
**GEOLOGIC MAP OF THE PLATANARES GEOTHERMAL
SITE SHOWING STRUCTURAL FEATURES AND
LITHOLOGIC DISTRIBUTION.**

LÁMINA 1
**MAPA GEOLÓGICO DEL EMPLAZAMIENTO GEOTÉRMICO
PLATANARES ILUSTRADO LAS CARACTERÍSTICAS
ESTRUCTURALES Y LA DISTRIBUCIÓN LITOLÓGICO.**



SOURCES

QUATERNARY		Qal - ALLUVIUM
		Qt ₂ - YOUNGER TERRACE GRAVELS, LOCALLY SINTERED
		Qt ₁ - OLDER TERRACE GRAVELS, LOCALLY SINTERED
CRETACEOUS		KTva - VALLE DE ANGELES: RED-BED CLASTIC ROCKS

The figure is a geological map of the area around Santa Rosa de Copán. It features several geological units represented by different patterns and symbols:

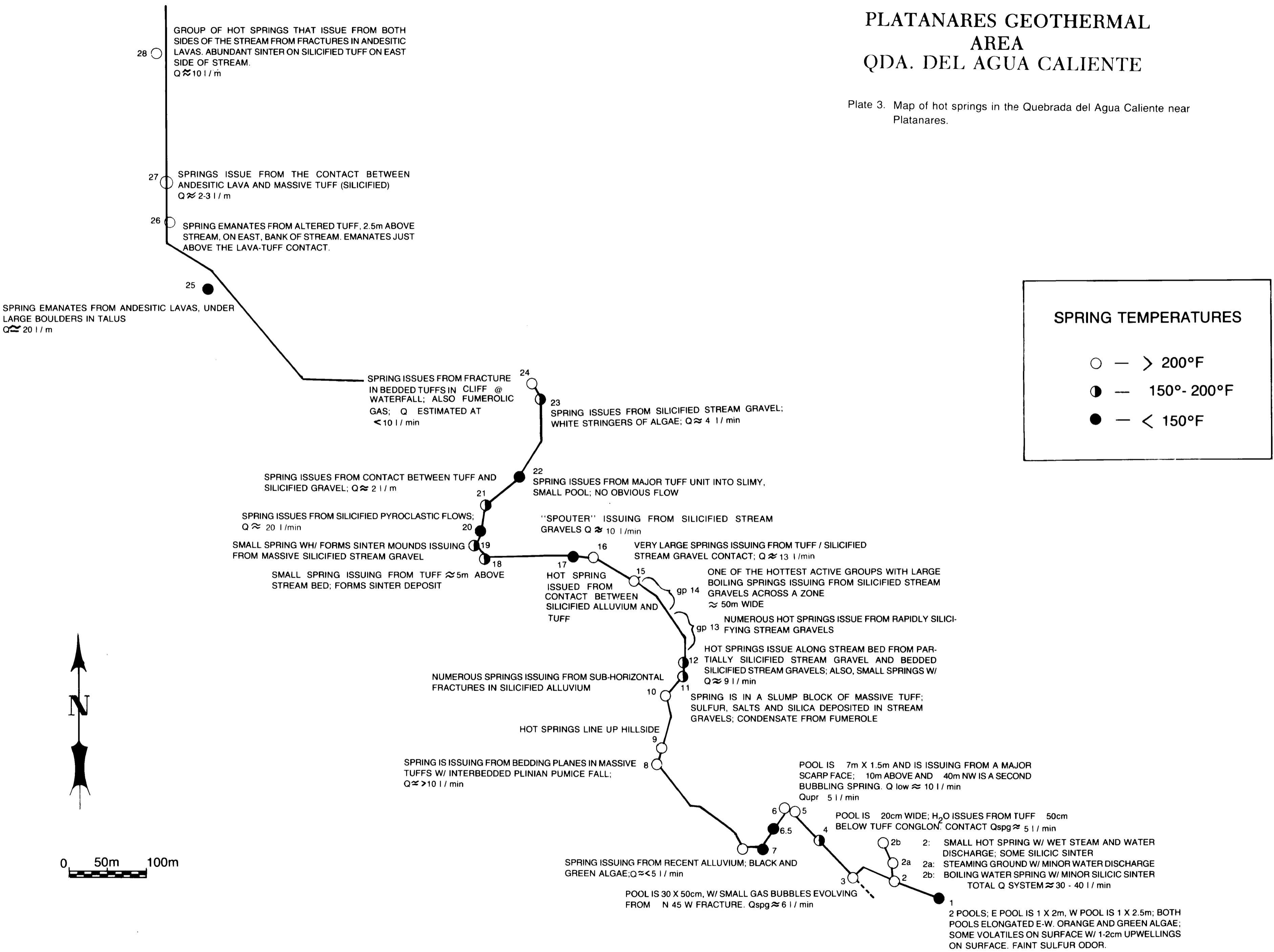
- TERTIARY:** A bracketed group containing "Ta - ANDESITIC LAVAS" with a pattern of small squares and "Tpm - TUFFS" with a pattern of diagonal lines.
- EOZOIC (?)**: A bracketed group containing "Pzm - METAMORPHIC ROCKS: MOSTLY SCHISTS" with a pattern of large, irregular shapes.
- SANTA ROSA DE COPAN**: Labeled in the upper right corner.

**BASE MAP REDRAWN FROM 1:50,000 SCALE
SANTA ROSA DE COPÁN TOPOGRAPHIC SHEET**



PLATANARES GEOTHERMAL AREA QDA. DEL AGUA CALIENTE

Plate 3. Map of hot springs in the Quebrada del Agua Caliente near Platanares.



PLATANARES

PLATE 2

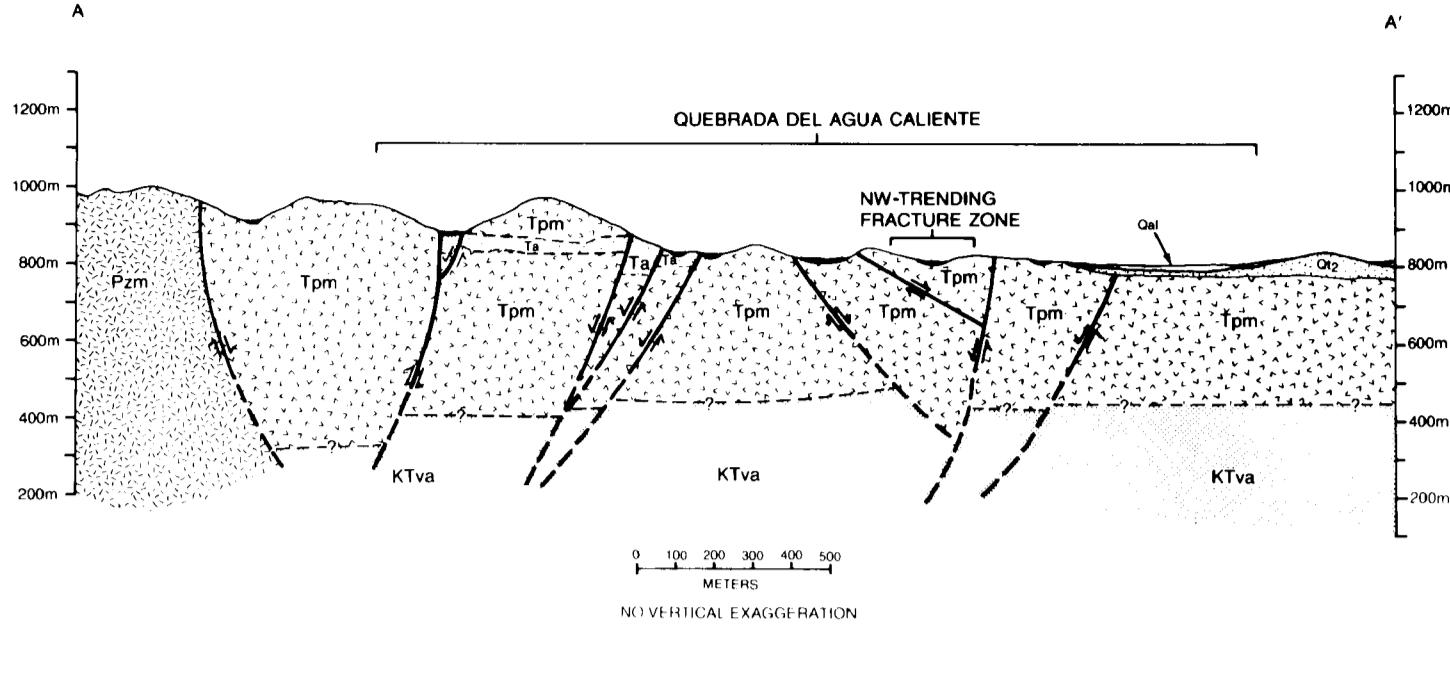
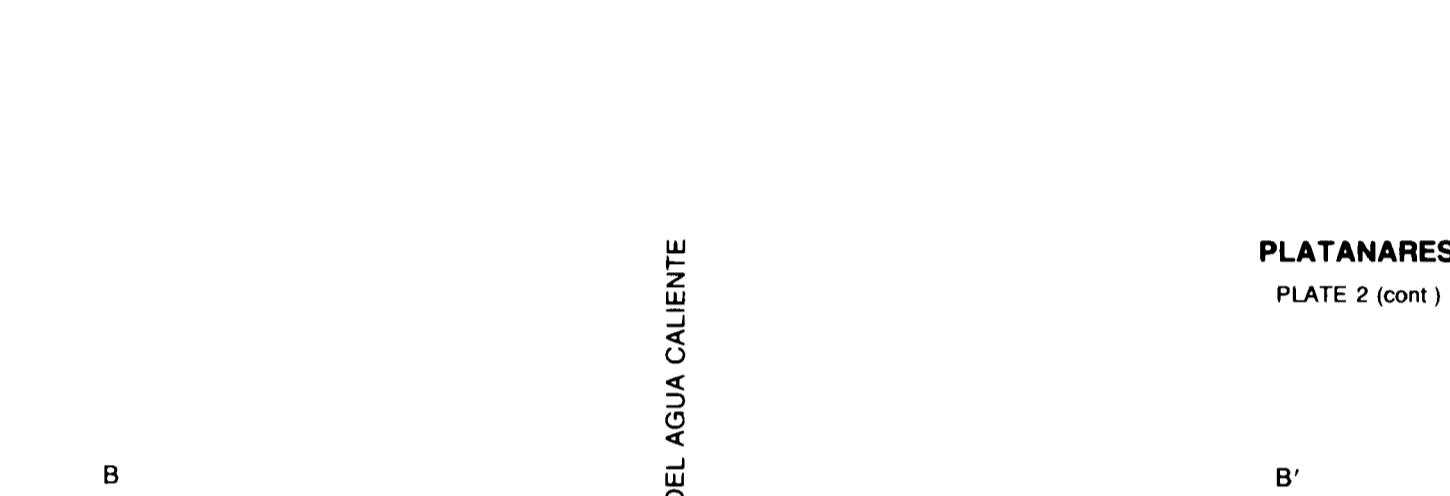


Plate 2. Geologic cross sections A – A', B – B', and C – C' in the area of Platanares. Refer to the geologic map (Plate 1) for the legend and location of cross – section lines.

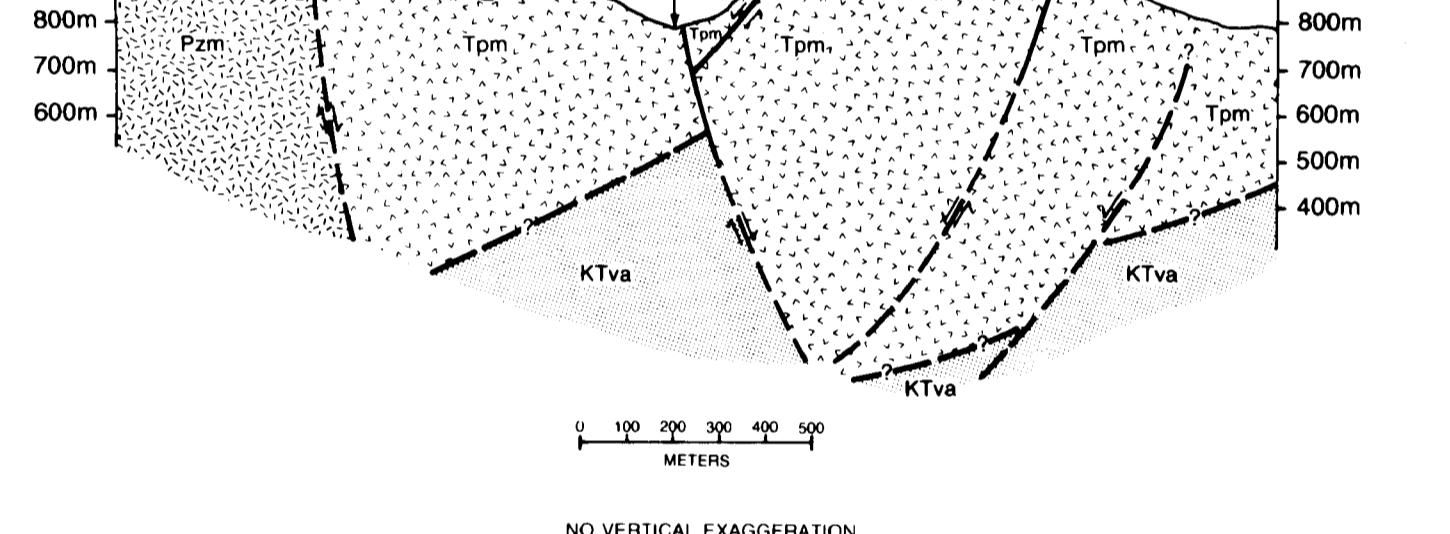
PLATE 2 (cont)



NO VERTICAL EXAGGERATION

PLATANARES

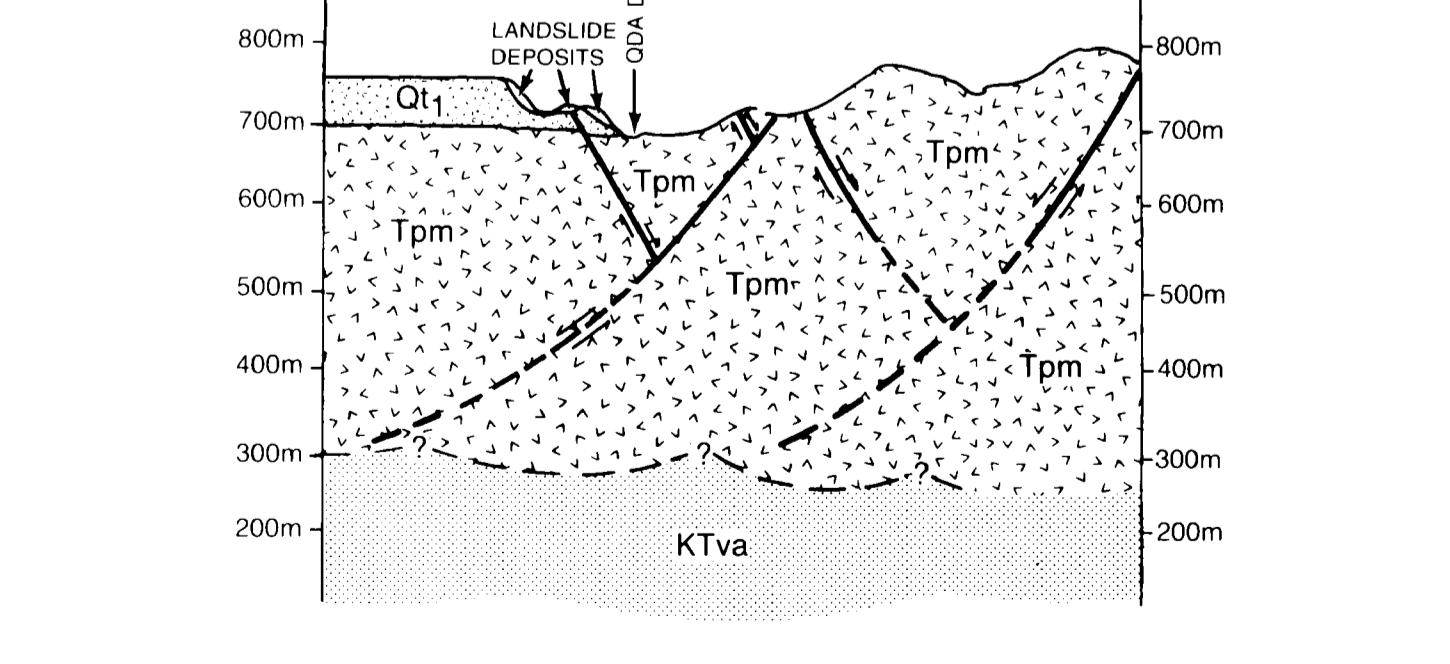
PLATE 2 (cont)



NO VERTICAL EXAGGERATION

PLATANARES

PLATE 2 (cont)



NO VERTICAL EXAGGERATION