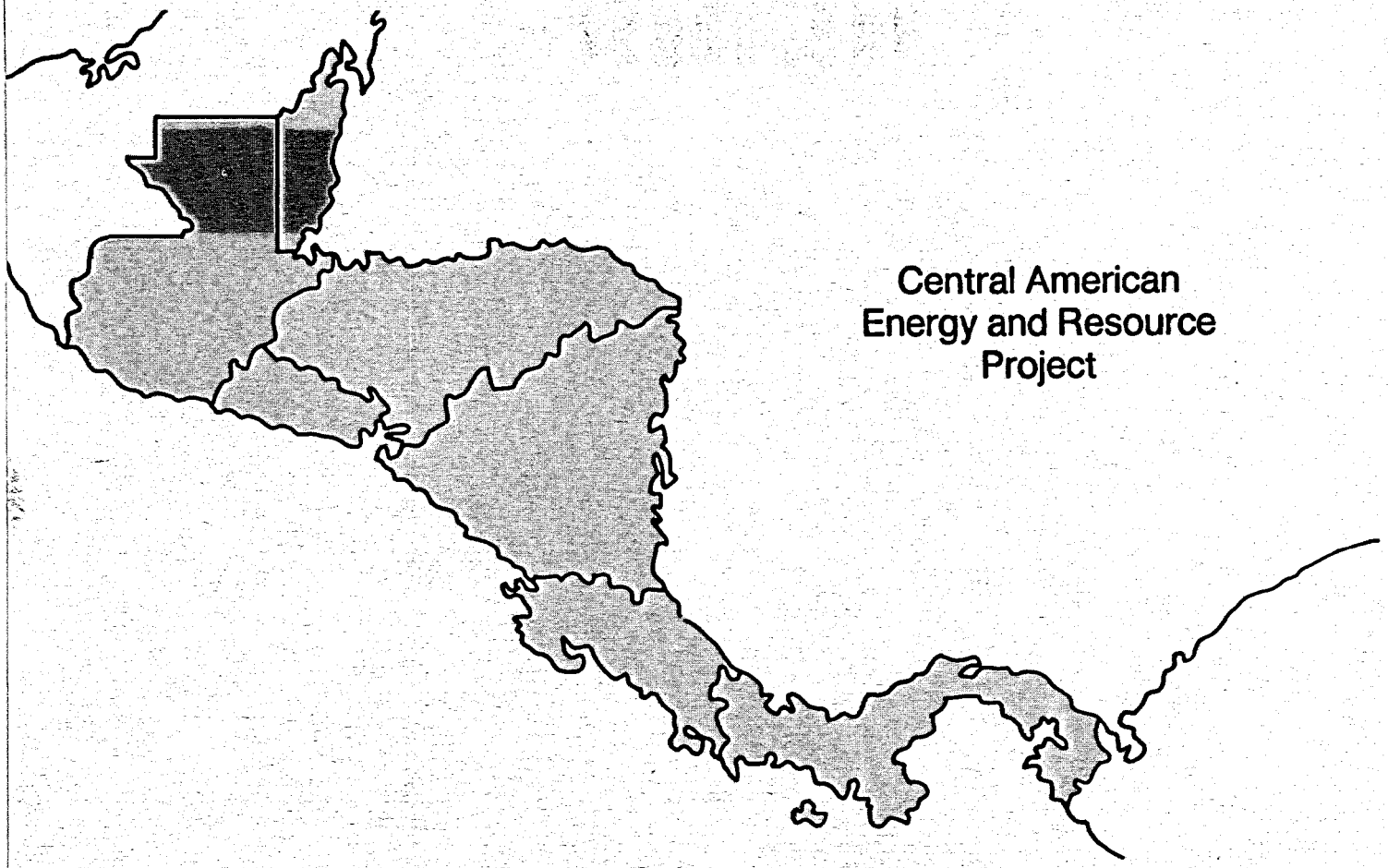
2

LA-11103-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.



Central American
Energy and Resource
Project

Preliminary Evaluation of Thermal and Nonthermal Waters at Selected Sites in Panama, Central America

DO NOT MICROFILM
COVER

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

MASTER

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED

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.

DISCLAIMER

Portions of this document may be illegible in electronic image products. Images are produced from the best available original document.

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

An Affirmative Action/Equal Opportunity Employer

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-11103-MS

UC-000
Issued: November 1989

LA--11103-MS

DE90 003433

Preliminary Evaluation of Thermal and Nonthermal Waters at Selected Sites in Panama, Central America

Lisa Shevenell

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED

MASTER

Los Alamos National Laboratory
Los Alamos, New Mexico 87545

CONTENTS

EXECUTIVE SUMMARY vii

ABSTRACT..... 1

I. INTRODUCTION 1

II. REGIONAL GEOLOGY 3
A. Tectonic Structure 3
B. Stratigraphy 4

III. CHITRE-CALOBRE AREA (SANTIAGO) 6
A. Geology 6
B. Geochemistry 7
C. Discussion 10

IV. PUEBLO NUEVO AREA 10

V. EL VALLE DE ANTON AREA 11
A. Geology 11
B. Geochemistry 12
C. Discussion 14

VI. OLA AREA 14

VII. CONCLUSIONS 15

VIII. RECOMMENDATIONS 17
Stage 1: Reconnaissance. 17
Stage 2: Detailed Sampling 17
Stage 3: Analysis and Interpretation..... 19

ACKNOWLEDGMENTS 19

REFERENCES 19

APPENDIX: HYDROGEOCHEMICAL DATA..... 21

EXECUTIVE SUMMARY

Hydrogeochemical investigations at four sites in Panamà have been a cooperative effort between the United States of America (Los Alamos National Laboratory) and Panama (Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación). The purpose of the exploration activities was to evaluate each site for its geothermal potential using hydrogeochemical and geologic data.

The initial investigations of thermal sites in Panama included the Chitré-Calobre, Pueblo Nuevo, El Valle de Antón, and Olá areas. Thermal waters, meteoric waters, and springs that are mixtures of both were collected and analyzed. Estimated reservoir temperatures and characteristics of thermal fluids were determined for each site. Due to the varied chemical composition of fluids from the four sites, total dissolved solids range from 900 ppm to nearly 10,000 ppm. All of the sampled fluids are meteoric in origin, and all waters originate from a reservoir with a temperature ≤160°C. All thermal waters are relatively low in SiO_2 and trace elements (As, B, Br, F, and Li) that are usually high in fluids originating from a high temperature reservoir.

At the Chitré-Calobre area, four different water types were identified, and the maximum estimated reservoir temperatures at this site are ≥130°C. Only one thermal fluid was identified in the Pueblo Nuevo area, and it is unlikely that this fluid originates from a usable high temperature reservoir. In the El Valle de Antón area, four types of fluids were identified, two of which are geothermal waters. One of the thermal fluids appears to originate from a reservoir with a temperature of about 160°C. However, this fluid could merely be a mineralized water from a reservoir at a temperature ≤65°C because the fluid contains high Ca, Mg, Na, HCO_3, and SO_4 concentrations. The other thermal fluid at El Valle de Antón is high in SiO_2 and may originate from a reservoir at 160° to 170°C. Two water types were identified in the Olá area, yet neither indicates that the area possesses any potential for geothermal resource development. The only area in Panama that may possess significant geothermal potential and that warrants additional studies is the El Valle de Antón area.

PRELIMINARY EVALUATION OF THERMAL AND NONTHERMAL WATERS AT SELECTED SITES IN PANAMA, CENTRAL AMERICA

by

Lisa Shevenell

ABSTRACT

Thirty-one thermal and nonthermal water samples were collected in Panama by the Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación and analyzed by the Earth and Space Sciences Division at Los Alamos National Laboratory to evaluate the geothermal potential of four different areas. Chemical and isotopic analyses were performed on each sample. Because samples from several areas were submitted, the chemistry of the samples is varied, with total dissolved solids of thermal fluids ranging from 900 to nearly 10,000 mg/ℓ. All water samples studied are meteoric in origin, and none of the thermal waters exhibit an ^{18}O enrichment, which is characteristic of high-temperature isotopic exchange between water and rock. At all four areas, calculated geothermometer temperatures indicate maximum subsurface equilibration temperatures within a reservoir of less than 160°C.

I. INTRODUCTION

In a coordinated effort between the Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE) and Los Alamos National Laboratory (LANL), 31 thermal and nonthermal waters were collected and analyzed from several areas in Panama (Fig. 1). Local geologic and structural data are combined with the chemical and isotopic analyses to make preliminary interpretations of geothermal potential. Water samples were collected by IRHE, and major- and trace-element chemistry of the fluids was determined by P. E. Trujillo, Jr., and D. A. Counce at Los Alamos. Stable isotope analyses were performed at the Institute for the Study of Earth and Man in Dallas, Texas.

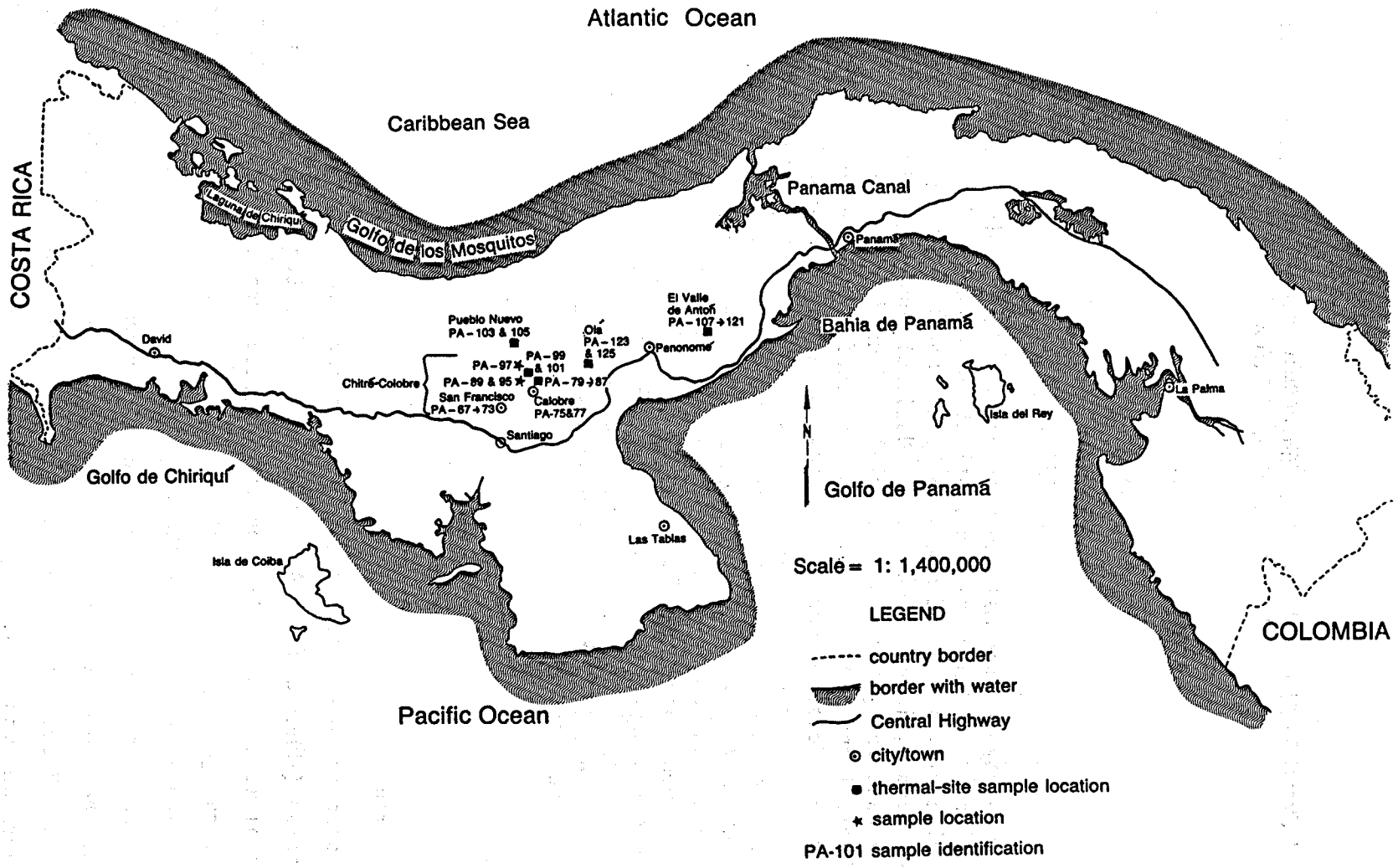


Fig. 1.
Sketch map identifying sample locations in Panama.

A small number of samples were collected from each of the four study areas (Chitré-Calobre, Pueblo Nuevo, El Valle de Antón, and Olá) in western Panama (Fig. 1). Available data are suitable for making preliminary interpretations and generalizations about each area's geothermal potential. The thermal fluids are categorized by their water type and compared to other fluids in the area. The results of this preliminary study are then compared with those presented in the 1986 Barberi synthesis report and 1986 data from the Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

The chemistry of the samples is varied because waters from several areas were submitted. In general, the thermal waters are low in SiO_2 concentrations and low in trace elements (As, B, Br, F, and Li), which are usually indicative of high temperatures (Tables A-I to A-III). Deuterium and ^{18}O contents of all thermal and nonthermal waters indicate that fluids are all meteoric in origin (Table A-IV). In a plot of δD versus $\delta^{18}O$ (Fig. 2), all waters fall on or parallel to the world meteoric water line (Craig 1961). Using the stable isotope data, a best-fit line was calculated to find the meteoric water line in Panama ($\delta D = 7.89\ \delta^{18}O + 7.42$). A similar meteoric water line has been calculated for Honduras ($\delta D = 7.76\ \delta^{18}O + 8.29$), Goff et al., 1987. No ^{18}O enrichment is displayed on the stable isotope plot, which indicates high-temperature isotopic exchange between water and rock does not occur at any of the sites investigated. Therefore, on first inspection, none of the thermal fluids in Panama appear to originate from a high-temperature reservoir (≥200°C).

II. REGIONAL GEOLOGY

A. Tectonic Structure

The structure and tectonic evolution of Panama are complex and have been only moderately studied. The geology of Panama results from the interaction of the Cocos, Nazca, and Caribbean plates, with Panama lying on the southern edge of the Caribbean plate. The Cocos and Nazca plates are in contact along the Panama fracture zone, which has a north-south trend and is located south of Panama. This north-south fracture system began 12 million years ago (Ma), with extension occurring between the Cocos and Nazca plates creating many large transform faults. The reader should consult the 1985 report by OLADE for a more detailed geologic description of the region, including maps of the area.

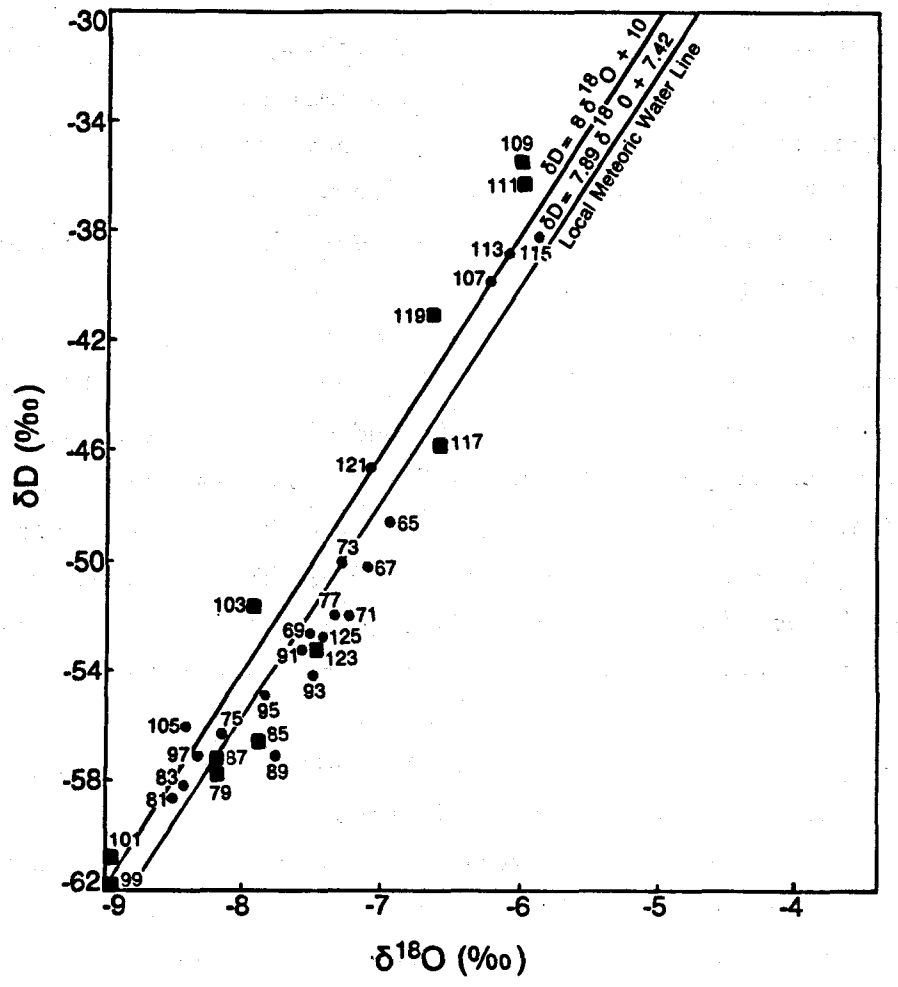


Fig. 2.
A plot of δD versus $\delta^{18}O$ of thermal (squares) and nonthermal waters (circles) of Panama. Note that all points fall on or parallel to the world meteoric water line. The line labeled $\delta D = 7.89\ \delta^{18}O + 7.42$ is a linear least-squares regression line that is calculated using the 31 water samples to establish the meteoric water line of Panama. All sampled waters, including the miscellaneous waters, are plotted.

B. Stratigraphy

The lithologic units presented are identified and discussed in data from OLADE (1985) and are listed according to decreasing age of the units.

Panama's pre-Cretaceous rocks are composed of basic and ultrabasic volcanic rocks, including basaltic lavas, picrites, gabbros, diabases, and peridotites. Some of the basic lavas were apparently deposited in a sub-marine environment, as is indicated by the presence of pillow structures. The pre-Cretaceous rocks have been metamorphosed and currently display a greenish

color. The basic lavas are locally associated with volcaniclastic sediments, conglomerates, and cherts.

Along the length of the Río Changuinola and in the Province of Bocas del Toro, fossiliferous sedimentary rocks crop out and have been categorized as belonging to the upper Cretaceous. The sedimentary sequence includes a series of limestones with bathyal biomicrites exhibiting concoidal fractures. The limestones are locally interbedded with lavas and tuffs. In the Paleocene and lower Eocene, the emplacement of plutons resulted in contact metamorphism of the Cretaceous rocks.

Two named formations, the Gatuncillo and the Tonosí, are of Eocene age and are dominantly sedimentary rocks interbedded with volcanic rocks. The Gatuncillo Formation (lower Eocene) is composed of siltstones and sandstones capped by a thin layer of algal limestone. The Tonosí Formation (mid-Eocene), is primarily composed of argillaceous sandstones.

The sedimentary rocks of the Oligocene are also interbedded with volcanic rocks. The maximum volcanic activity in the Tertiary period occurred during the Oligocene with agglomerates and lava flows. Four Oligocene formations have been identified: the Aruza, the Obispo, the Senosri, and the Uscari. The Aruza Formation is composed dominantly of marls (impure limestones), rich in foraminifera with subordinate clays. The Obispo Formation is principally composed of pyroclastic deposits with subordinate sandstones, shales, and conglomerates, and the Senosri Formation consists of sandstones, limestones, and volcanic conglomerates. Finally, the Uscari Formation is composed of shales and sandstones interbedded with volcanic ash that cap the Oligocene sedimentary-volcanic sequence.

Seven Miocene formations have been identified and named. The lowermost unit is the Boca Formation, which is dominantly composed of tuffs interbedded with sandstones, conglomerates, and ash. Overlying the Boca Formation is the lower-Miocene Cucaracha Formation, which is mostly sandy clay of marine origin. The calcareous sandstones with tuffs and coralline limestone of the Culebra Formation cap the lower-Miocene sequence. Next, the Gatún and San Pedrito Formations were deposited in mid-Miocene. The Gatún Formation is composed of fine-grained calcareous sandstone with siltstones, conglomerates, and tuffs, while the San Pedrito Formation consists of marine volcaniclastic sediments. Finally, in the upper Miocene, are the Chagres and Cañazas Formations. The Chagres is a massive sandstone that is locally capped by limestone. Overlying

the Chagres Formation are the lavas and subaerial tuffs of the Cañazas Formation.

Pliocene rocks are generally composed of conglomerates, sandstones, and siltstones belonging to the Punta Burica Formation. Finally, Quaternary activity dominantly resulted in the deposition of fluvial, lagunal, and coastal sediments.

Throughout the known geologic history of Panama, the country has undergone multiple depositional events of sedimentary rocks, limestones, lavas, and tuffs. Panama appears to have a long history of sporadic volcanic activity until fairly recently.

III. CHITRE-CALOBRE AREA (SANTIAGO)

A. Geology

The Chitré-Calobre region is located on the San Francisco and La Yeguada topographic sheets, and the locations of the sampled waters are listed in Table A-I and illustrated in Fig. 1. The Chitré-Calobre area is characterized by long-lasting volcanic activity that was concentrated during two time periods. The largest volumes of volcanics associated with the Chitré area are ignimbrites and andesitic lava flows.*

* Underlying the volcanically active region is a fractured igneous basement of Tertiary age that includes intrusive bodies of intermediate to silicic composition. These intrusive bodies cut through Eocene-Oligocene(?) andesitic and basaltic lavas. The two major volcanic units that overlie the region's basement rocks are the Cañazas and the La Yeguada Formations. The Cañazas Formation consists of mid-Miocene andesitic lavas with minor agglomerates and pyroclastics. La Yeguada Formation is dominantly ignimbrites of the mid- to upper-Miocene period. Volcanic activity ceased in the upper Miocene approximately 9 Ma (Barberi 1986).

Volcanic activity resumed in the late Pliocene and continued to recent times. Most of the Quaternary volcanism is characterized by low-volume dacites resulting from fractional crystallization of basic magmas at shallow depths (Barberi 1987). La Montañuela, a 2.43-million-year-old small dacite cone, is

*R. J. Hanold, personal communication, ESS-DOT, Los Alamos National Laboratory, (April 1987).

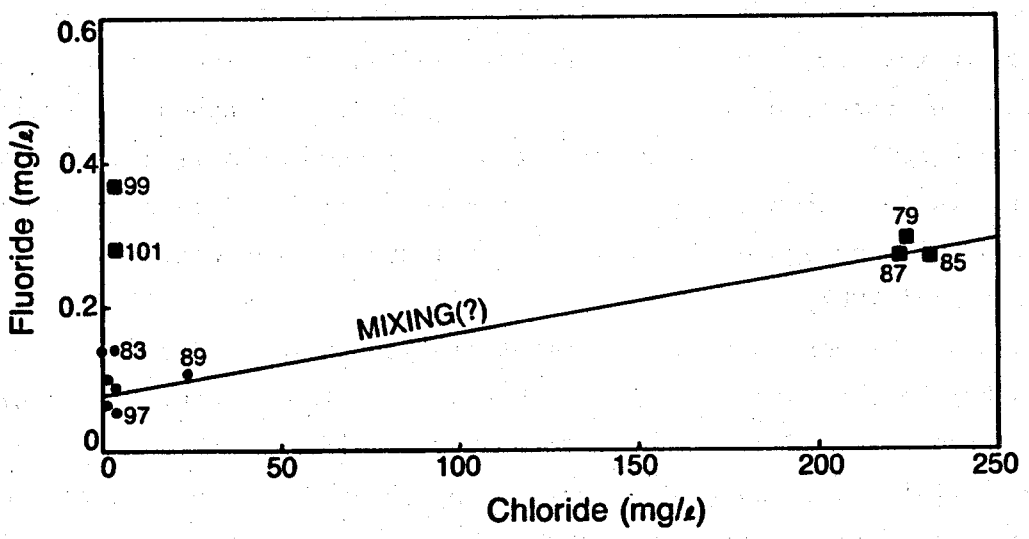
truncated by a small caldera. Two other young dacite domes have been identified in the area: El Picacho de Olá (1.9 Ma) and El Esquinado (1.7 Ma). Both domes are associated with ash flows and debris avalanches. A small shoshonitic basalt cone named Media Luna was emplaced in a large, old caldera, and its age is less than 0.1 m.y. The youngest silicic volcano in the area is El Castillo, with an age of 0.2 m.y., and all thermal springs issue near this volcano (Barberi 1987).

Since the Miocene period, intense tectonic activity fractured the rocks of the Chitré-Calobre area. Both the basement and the overlying volcanic rocks are highly fractured, with fractures probably providing both the passageways for thermal fluids to flow to the surface and the porosity needed to support a reservoir. The most recent fracture systems are east-west extensional faults, which act as conduits for the recent volcanic rocks and possibly provide conduits for fluid flow (Barberi 1986).

B. Geochemistry

Of the 16 waters sampled in the Chitré-Calobre region, three water types have been identified in the area (Fig. 3), and five fluids could be categorized as thermal waters. The F, Li, and B versus Cl plots in Fig. 3 show three distinct groups: thermal fluids represented by samples 79, 85, 87; possible thermal water represented by 89, 99, and 101; and meteoric waters, shown as a cluster of points (circles), represented by samples 67, 69, 71, 73, 75, 77, 81, 83, 95, and 97. Meteoric waters, in the form of run-off in streams and rivers and shallow groundwater flow issuing as cold springs, have low Cl concentrations (<4 mg/ℓ) and low total dissolved solids (TDS) (<300 mg/ℓ). Ammonium concentrations are relatively high in the meteoric waters (up to 0.60 mg/ℓ). These high NH_4 concentrations may represent steam-leakage anomalies; however, it is also likely that the presence of NH_4 is controlled by near-surface contributions. Other trace elements indicative of a thermal contribution (Li, B, Br) are low in all meteoric waters.

The first set of springs that are classified as thermal waters (44° to 55°C) are Na-SO_4-Cl fluids (sample numbers PA-79, -85, and -87; see Table A-II). All three waters appear to have the same origin, with each containing substantial amounts of Ca (>200 mg/ℓ) and very low K (<3 mg/ℓ) relative to Na (>400 mg/ℓ). Concentrations of Li and Br are low, while B is moderate (up to 3 mg/ℓ). Because of the low K concentrations, the Na-K-Ca (β = 4/3) geothermometer yields values that are less than discharge temperatures (Table A-V).



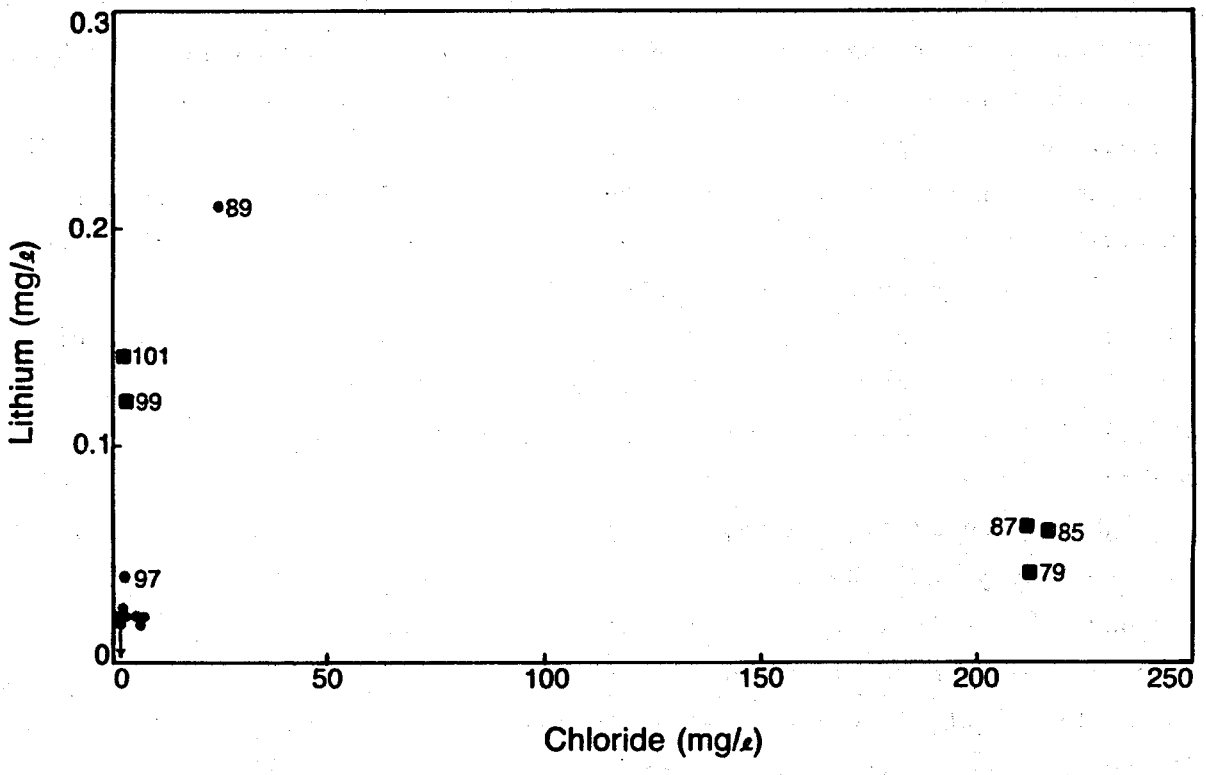


Fig. 3.
Plots of Li, F, and B versus Cl of thermal and nonthermal waters of the Chitré-Calobre area. Meteoric waters are represented with circles while thermal or possible thermal waters are represented with squares. Numbers refer to sample numbers listed in the Appendix tables.

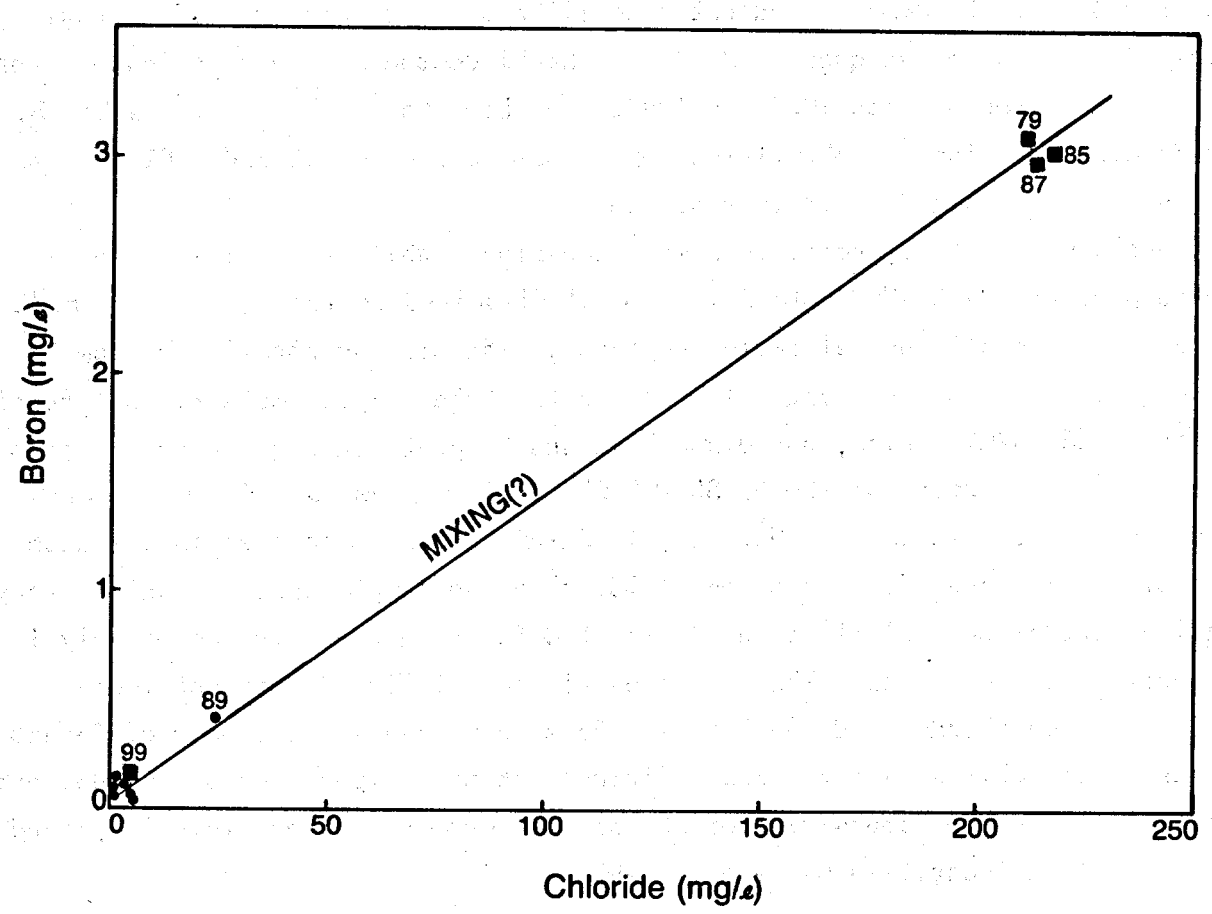


Fig. 3. (cont.)

Silica concentrations are low (≤85 mg/ℓ), and it is the opinion of the author that SiO_2 is controlled by a relatively soluble phase such as cristobalite or amorphous silica. Maximum calculated quartz geothermometer temperatures are 125°C; however, the Na-K and the Na-K-Ca geothermometers indicate reservoir temperatures that are <60°C. Therefore, I believe that these fluids do not originate from a usable high-temperature reservoir.

The second type of thermal fluid is exhibited in the chemistry of samples 99 (30°C) and 101 (28°C), which are Ca-HCO_3 in character. These fluids have very low Cl (~3 mg/ℓ), B (0.10 mg/ℓ), and Br (<0.1 mg/ℓ) concentrations, which may imply that the fluids of PA-99 and -101 do not contain a thermal fluid component. The Ca-HCO_3 character of the fluids also implies that the fluids originate from a limestone source, most likely a low-temperature source,

because $CaCO_3$ solubility increases with decreasing temperature. Also, the Na-K-Ca β = 4/3 geothermometer indicates equilibration temperatures of approximately 40°C. While the quartz, Na-K, and Na-Li geothermometers indicate reservoir temperatures between 100° and 189°C, the high Ca and HCO_3 and low Cl, B, and Br concentrations in the fluids imply that samples PA-99 and -101 do not originate from a high temperature source.

One sample, PA-89, requires some discussion. While this fluid is a low-temperature Na-Ca-HCO_3 fluid with total dissolved solids of only 217 mg/ℓ, it may have a small thermal fluid component. The Cl concentration of sample PA-89 (24.5 mg/ℓ) is substantially greater than the sampled meteoric waters of the area (≤3 mg/ℓ). Also, the B and F versus Cl plots in Fig. 3 suggest that sample 89 is a mixture of the Na-SO_4-Cl fluid of samples 79, 85, and 87 with local, cool meteoric water. However, if PA-89, which is located 13 km southwest of 79, 85, and 87, is a mixed fluid, then the sample contains only a very small amount of thermal fluid and is located far from the main, relatively low-temperature thermal area. The Li versus Cl plot of Fig. 3 does not imply mixing between thermal and nonthermal waters, but does suggest four different fluids in the Chitré-Calobre area: fluids with the composition of 79, 85, and 87; fluids with the composition of 99 and 101; meteoric waters (circles); and a separate fluid identified by sample PA-89.

C. Discussion

Four types of fluids are identified in the Chitré-Calobre area. From a geothermal standpoint, samples PA-89, -99, and -101 and the meteoric waters are of no further interest. The PA-79, -85, and -87 samples are the only geothermal waters identified in the area, and their geothermometer temperatures indicate that the reservoir is ≤130°C. More samples need to be collected and analyzed in the area near these three samples before quantitative assessments can be made concerning the geothermal potential. Based on available data, it is the opinion of the author that the Chitré-Calobre site is not suitable for high-temperature geothermal development.

IV. PUEBLO NUEVO AREA

The Pueblo Nuevo area is located on the Gatú topographic sheet, and no geologic information is available at this time. Only two water samples were collected for the geochemical study of the Pueblo Nuevo area. Sample number PA-105 is definitely a sample of local meteoric water, and its total dissolved

solids are only 88 mg/ℓ. A second sample, PA-103, is a 39°C, Ca-HCO_3-SO_4 water with 3700 mg/ℓ total dissolved solids, and it appears to be a mineralized spring. Trace element anomalies such as Li, B, and Br are quite low, while Ca + Mg concentrations are very high (>680 mg/ℓ). The Na-K-Ca geothermometer yields a temperature of only 52°C. Quartz geothermometer temperatures of up to 155°C were calculated (Table A-V), but the silica content in the fluid is probably controlled by a soluble phase such as cristobalite or amorphous silica. I strongly doubt that this fluid originates from a high-temperature reservoir, and I believe that no further exploration activities need to be conducted in this area.

V. EL VALLE DE ANTON AREA

A. Geology

El Valle de Antón is a Quaternary stratovolcano that lies on top of the Tertiary volcanic basement. A caldera on the summit of this stratovolcano was formed during violent, Plinian-type, pyroclastic eruptions and is 5 to 6 km wide and approximately 400 m deep. A double-caldera collapse event occurred, leaving the older, northern La Mesa caldera separated from the one-million-year-old southern El Valle de Antón caldera by three lava domes. These three domes, Cerro Pajita, Cerro Gaital, and Cerro Caracol, have been emplaced along the northern-ring fracture zone of the El Valle de Antón caldera and are post-caldera in age. After the caldera collapse, a dacite dome was emplaced in the caldera approximately 1 Ma. Volcanic activity persisted in El Valle de Antón from 1.3 to 0.13 Ma. The oldest volcanics of El Valle de Antón are pre-caldera andesites (approximately 1.3-million-years old) that were followed by pyroclastic deposits, pumice falls, and lava flows from dacitic to rhyolitic compositions. One of the most recent volcanic rocks is a pyroclastic deposit that formed during an eruption 0.13 Ma; however, a major post-caldera explosive eruption -- a Plinian-type pyroclastic -- occurred 0.04 to 0.05 Ma. The next pyroclastic flow was issued 34,600 years ago (Barberi 1987).

The basement rocks and overlying volcanic rocks exhibit three fault trends: northwest/southeast, northeast/northwest, and east/west. These three fracture systems probably provide sufficient fracture permeability for fluid flow. Several shallow, cold-water aquifers lie in the fractured, permeable, young volcanic rocks. It is likely that many deep conduits, such as faults and

feeder conduits, provide passageways through which fluids can flow to relatively great depths (Marinelli 1986); however, using solid/liquid mass balance, it is believed that a 27-km^3 magma chamber exists at shallow depth. Geothermometric and geobarometric estimates indicate that the magma chamber lies at a depth of 3 to 5 km, with an estimated temperature of 800°C for rhyolite and 900°C for andesite (Barberi 1986).

B. Geochemistry

Nine waters were sampled and analyzed in the El Valle de Antón area, and four different types of fluids have been identified. Samples PA-107, -113, -115, and -121 characterize the area's meteoric waters. Samples 107 and 113 are Na-Ca-HCO_3-SO_4 fluids with TDS <300 mg/ℓ, while PA-115 and -121 are Na-Ca-HCO_3 fluids with TDS between 80 and 160 mg/ℓ (Table A-II).

The two types of thermal water identified are samples 109 (31°C) and 111 (29°C), and samples 117 (38°C) and 119 (37°C). Clearly, samples 109 and 111 have a different origin than the fluids of PA-117 and -119. On B, F, and Li versus Cl plots (Fig. 4), there is no linear trend between the two types of thermal fluid and meteoric water. No mixing trends can be identified, partly because an insufficient number of samples were collected from each site.

Samples 109 and 111 are located on the Tula topographic sheet about 20 km northwest of the El Valle de Antón caldera, while 117 and 119 are located on the El Valle de Antón sheet within the caldera's southwest sector. The first pair of samples are Na-Cl-HCO_3-SO_4 waters with approximately 9000 mg/ℓ total dissolved solids, considerable concentrations of Ca + Mg, and anomalous Li, B, and Br. Although silica geothermometer temperatures are not impressive, they agree with the Na-K and Na-K-Ca (β = 1/3) geothermometers. Before applying the Mg-correction, temperatures between 153°C and 161°C were estimated. It is quite possible that 109 and 111 are mixed waters, with a thermal component originating from a reservoir >160°C. If this fluid originates from a reservoir beneath El Valle de Antón, then the waters have traveled approximately 19 km in the subsurface before issuing as springs. On the other hand, the high concentrations of Ca, Mg, Na, HCO_3, SO_4, and Cl in these waters suggest that 109 and 111 may also be mineral waters originating from a reservoir of ≤65°C.

The second pair of thermal waters, 117 and 119, are Na-Cl-HCO_3 waters with relatively high Ca + Mg (~160 mg/ℓ) and somewhat anomalous Li, B, and Br concentrations (Table A-II). While samples 109 and 111 have low silica concentrations, samples 117 and 119 are much higher in silica. Hence, the

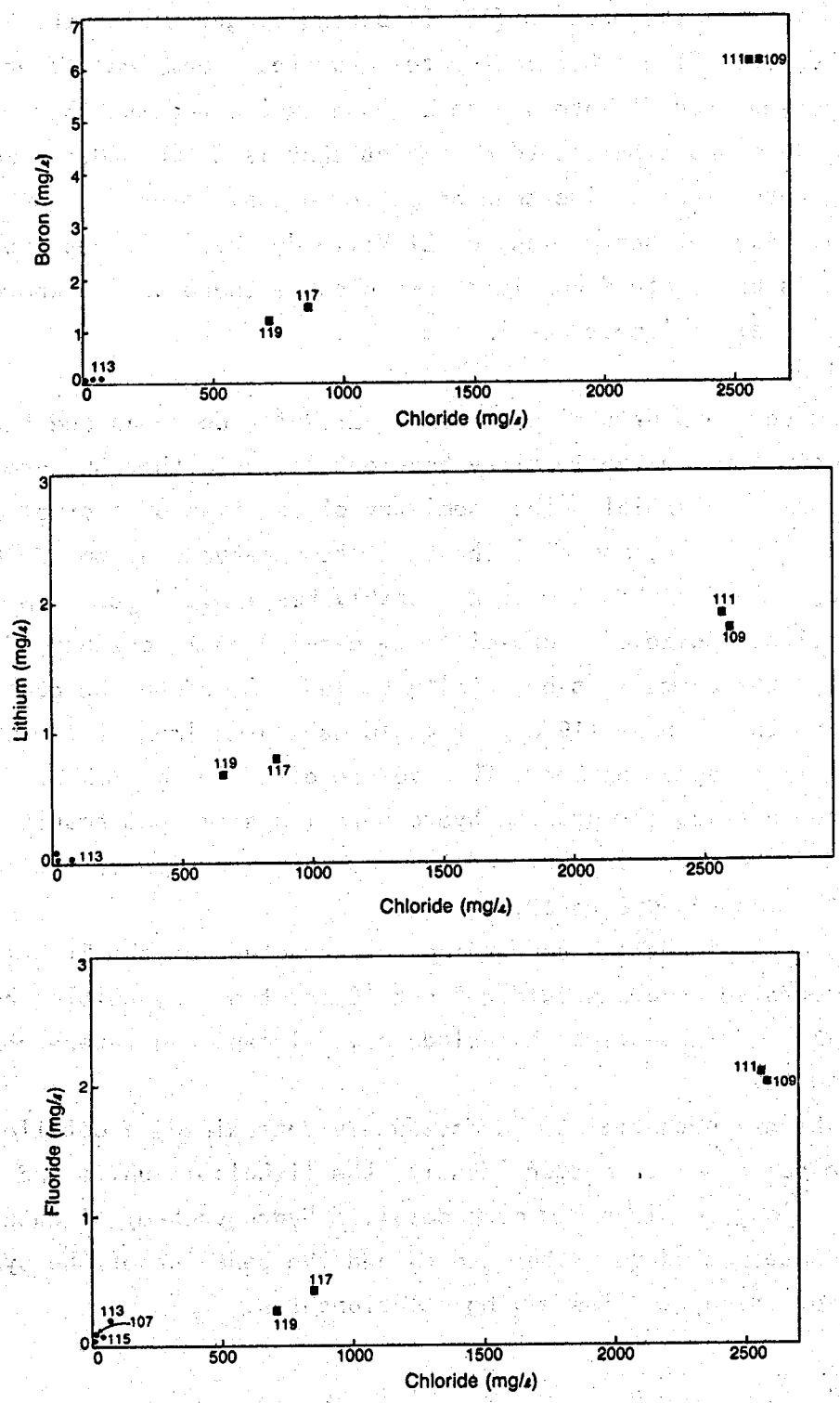


Fig. 4. Plots of Li, F, and B versus Cl of thermal and nonthermal waters of El Valle de Antón area. Meteoric waters are represented with circles while thermal fluids are represented with squares. Numbers refer to sample numbers listed in the Appendix tables.

quartz geothermometer temperature (154°C) strongly agrees with the Na-K (168°C) and the Na-K-Ca (154°C) geothermometer temperatures. Samples 117 and 119 appear to be mixed thermal waters with a geothermal component that may range from 160° to 170°C and with a cold component that is Ca-Mg-HCO_3 water, which possibly originates from a limestone or mafic volcanic source. However, based on present knowledge of the geology of El Valle de Antón, it seems unlikely that cold waters originate from limestones because there are no known occurrences of shallow limestones in the area.

C. Discussion

The relative youth of the volcanism in El Valle de Antón and the expected fracture permeability in the Tertiary basement indicate that the area may possess geothermal potential. The chemistry of one type of thermal fluid also indicates that the fluids may equilibrate at temperatures up to 170°C; however, another factor suggests that the area probably has limited geothermal potential. The estimated size of a one-million-year-old magma chamber of 27 km^3 is quite small and the magma must be totally cooled. Based on the cooling curves developed by Smith and Shaw (1975), it would take a maximum of 100,000 years to cool a cube-shaped magma chamber with a volume of 27 km^3 to 300°C. Therefore, the heat source driving the present hydrothermal system must result from the rejuvenation of the magma chamber and the related extrusion of the recent pyroclastics in the last 30,000 to 40,000 years.

For detailed information concerning the structure of the El Valle de Antón area, the interested reader should refer to Geosystems' consulting reports (1987a and 1987b). These reports include several maps and interpretations of the acquired data.

For geothermal potential to be accurately determined, a detailed geologic study must be performed to better identify the lithologic units and structure of the area. Also, considerably more detailed hydrogeochemical data must be obtained and interpreted to better understand the behavior of the system, its reservoir temperature, and its mixing relationships.

VI. OLA AREA

No geologic information is currently available for the Olá Area. Two water samples were collected and two types of fluids have been identified in the Olá area. Both samples, PA-123 and -125, are located on the Olá topographic sheet

and have low discharge temperatures. Sample 123 (25°C), a Na-Cl water, contains substantial Ca + Mg concentrations. Sample 123 contains relatively low concentrations of Li (0.41), B (1.59), and Br (1.6) (Table A-II), yet these values are high compared to other sampled waters in Panama. The Na-K-Ca (β = 4/3) geothermometer temperature is 83°C, and the chalcedony geothermometer temperature is 73°C. This fluid is probably mineral water rather than a high-temperature geothermal fluid mixed with Ca-rich cold water. Even if the fluid does have a geothermal origin, the geothermometer temperatures show that the area has no potential for geothermal resource development.

The second water type (PA-125) has a discharge temperature of 27.2°C and total dissolved solids of 144 mg/ℓ (Table A-II). The fluids are Ca-Mg-HCO_3 in character and have no Li, B, or Br. In addition, the SiO_2 concentration is very low (36 mg/ℓ). The fluid chemistry of this water shows that sample PA-125 is definitely not a thermal fluid. Therefore, based on the available data, I conclude that the Olá area possesses no geothermal potential.

VII. CONCLUSIONS

Because samples from several areas were submitted, the chemistry of the 31 samples is highly varied. In general, the thermal waters are not high in SiO_2 and the calculations of most chemical geothermometers do not yield temperatures higher than 150° to 160°C (Table A-V). Sodium-lithium geothermometer values are given, but this thermometer seems to give erratic values from region to region. In general, the Na-K geothermometer is not trusted unless other geothermometers indicate temperatures ≥150°C (Ellis and Mahon, 1964; Fournier, 1981). None of the waters sampled in Panama have anomalous concentrations of As, Cs, or Rb, which are sometimes used as temperature indicators. Some waters do contain anomalous B, Br, Li, and NH_4, which are also possible temperature indicators. All thermal waters contain significant amounts of Ca, Mg, Sr, and HCO_3, which, because of their inverse solubility with temperature, usually indicate a low temperature of equilibration or substantial mixing between thermal and nonthermal fluids originating from carbonates. The preliminary interpretation is that none of the investigated waters originate from a very high-temperature geothermal system (i.e., >200°C).

Of the 16 fluid samples in the Chitré-Calobre area, only 3 are geothermal fluids, and these indicate equilibration temperatures of <130°C. Table I lists the comparative results obtained from studies of the Chitré-Calobre area by

TABLE I

COMPARISON OF FINDINGS FOR THE CHITRE CALOBRE AREA AMONG THE 1986 BARBERI SYNTHESIS REPORT, 1986 OLADE DATA, AND LANL

	Barberi Synthesis Report	OLADE (1986)	LANL
Geology	Recent volcanism; fractured intrusives provide upflow channels; new source of heat • Quaternary volcanic activity and long igneous history		
Water types	(1) alkali-earth SO_4 (HCO_3) (2) Na-Ca SO_4 (3) Alkaline-Cl	(1) Alkaline-earth SO_4 - HCO_3 (2) Na-Ca-SO_4 (3) Alkaline-Cl	(1) Ca-HCO_3 #99, 101 (2) Na-SO_4-Cl + high Ca #79, 85, 87 (3) --
Anomalies	No B	NH_3	B
Mixing	No	No	No
Geothermometer temperature	--[a] -- (3) 81-85°C	(1) (130°C)? (2) (10-50°C)? (3) 85°C	(1) Not thermal (2) <130°C, reservoir is probably close to the discharge temperature (3) --
Comments	Noted steam leakage anomalies; more studies needed	(1) & (2) Fluids don't equilibrate with reservoir rocks; need to accelerate exploration	(1) Limestone source (1) & (2) Not from high temperature reservoir; need more detailed studies, yet believe that the site exhibits insufficient potential.

[a]Dashes indicate that no data are available for the indicated parameter.

Barberi (1986), OLADE (1986), and the current report by (LANL). While specifics of the interpretations vary among the research groups, each agrees that the Calobre area is a relatively low-temperature resource and that more studies are needed to better understand the area.

Of the eight fluids sampled in the El Valle de Antón area, four waters have been identified as geothermal fluids of two different origins. The fluids may equilibrate within a reservoir up to 170°C; however, the discussed geology of the area suggests that only a small geothermal system may exist in El Valle de Antón because a sufficiently large existing heat source may not be present. However, both Barberi (1986) and OLADE (1986) believe that the area possesses a significant heat source to drive the geothermal system, and IRHE is currently preparing to drill exploration holes in the region. Table II compares the general findings of Barberi (1986), OLADE (1986), and LANL. As shown, the three groups agree on most items, except for the estimation of reservoir temperatures. All studies conclude that more detailed geological and hydrogeochemical studies need to be conducted in El Valle de Antón to more accurately estimate this area's geothermal potential.

VIII. RECOMMENDATIONS

Based on the study of the fluids of Panama, I believe that no further effort or money should be spent on the Chitré-Calobre, Pueblo Nuevo, or Olá areas. The area with the most promising potential is El Valle de Antón. Several questions need to be answered and problems resolved in this area. Therefore, LANL proposes a three-stage hydrogeochemical investigation.

Stage 1: Reconnaissance. We propose a one-week trip for two LANL persons to the area to work with local experts on issues related to logistics, access, and contacts. This trip would allow us to see the geology, the types of springs and wells, and the local hydrologic setting so that we could plan for detailed sampling.

Stage 2: Detailed Sampling. In this stage, we would perform detailed sampling of the area and its surrounding regions. We would sample warm and hot fluids, as well as cold springs and streams in the area. Any gases located would be sampled as well. Teams from LANL and the U.S. Geological Survey (USGS) would perform the analyses, including major and minor chemistry (LANL), stable isotopes of water (LANL and USGS), tritium (LANL), SO_4-^{18}O (USGS), gas chemistry (USGS), and ^{13}C of water, rock, and gas (LANL and USGS). About

TABLE II

COMPARISON OF FINDINGS FOR THE EL VALLE DE ANTON AREA AMONG THE 1986 BARBERI SYNTHESIS REPORT, 1986 OLADE DATA, AND LANL

	Barberi Synthesis Report	OLADE (1986)	LANL
Geology	Recent silicic volcanism; fracture permeability at depth (Tertiary basement)		
Water types	--[a] --[a] --[a]	(1) Alkaline Cl-SO_4 (Chiriquí) (2) Alkaline Cl (El Valle) (3) Alkaline earth Cl	(1) #109 and 111, Na-Cl-HCO_3-SO_4; high Ca + Mg (2) #117 and 119 Na-Cl-HCO_3. high Ca + Mg (3) --[a] (El Salado)
Anomalies	No B	No B	Small B anomaly, Li, Br
Mixing	Yes	Yes	Yes
Geothermometer temperature	(1) 110-115°C (2) 65°C (3) --[a]	(1) 50-55°C (2) Na-K-Ca=160°C (3) 110-115°C	(1) 160°C (2) 160-170°C (3) --[a]
Comments	(1) Geothermometer temperature controlled by amorphous SiO_2	(1) El Valle fluids at margin of thermal reservoir; recommend further studies; suspect $T_{deep} = T_{emergence}$, if there is saturation WRT anhydrite, amorphous silica and fluorite. (2) Temperature of equilibration 50-55°C for saturation WRT anhydrite, fluorite, and chalcedony.	(1) May be mineral fluids from reservoir $\leq$65°C. (2) Reservoir may be in limestone or fluids may be mixed with high Ca, Mg, and HCO_3 cold waters. More detailed geological and hydrogeochemical studies needed.

[a] Dashes indicate that no data are available for the indicated parameter.

2 weeks of field work are required to cover the caldera and its surrounding region.

Stage 3: Analysis and Interpretation. All samples would be analyzed, which would require roughly two months. All data would be interpreted and combined with existing geologic, geochemical, and geophysical data into a comprehensive report emphasizing (1) the temperature of the resource; (2) the formation characteristics of the resource; and (3) the recharge, age, and volume of the resource. A draft report would take 6 to 8 months after sampling and would involve about six researchers from LANL and USGS.

ACKNOWLEDGMENTS

The author gratefully acknowledges the efforts of IRHE, particularly from Ing. Vicente Ríos and Ing. Arturo Ramírez, for providing the Panama water samples to LANL. The author extends her appreciation and thanks to Jim Borthwick of the Stable Isotope Laboratory at the Institute for the Study of Earth and Man for performing the stable isotope analyses; to P. E. Trujillo, Jr., and D. A. Counce for performing the chemical analyses; to R. J. Hanold and F. E. Goff of LANL for reviewing the manuscript; and to Barbara Hahn for typing and preparing this manuscript. This report is the second in a series of hydrogeochemical reports prepared by the Los Alamos and the USGS Hydrogeochemical team.

REFERENCES

Barberi, F., 1986, Synthesis Report: Program IRHE-BID-OLADE, National Geothermal Reconnaissance, Advanced Prefeasibility of Barú-Colorado Complex, report provided to the Panama Geothermal Advisory Panel, Panama City, Panamá, 28 pp.

Barberi, F., 1987, Synthesis Report on the National Geothermal Reconnaissance, Advanced Prefeasibility of Barú-Colorado Complex, and Prefeasibility of Valle de Antón and Chitré-Calobre (unpublished report), 20 pp.

Craig, H., Isotopic Variations in Meteoric Waters, Science 133, 1702-1703 (1961).

Ellis, A. J., and Mahon, W. A., 1964, "Natural Hydrothermal Systems and Experimental Hot-Water/Rock Interactions," Geochim. Cosmochim. Acta 28, 1323-1357.

Fournier, R. O., 1981, "Application of Water Geochemistry to Geothermal Exploration and Reservoir Engineering," in L. Rybach and L. J. P. Muffler, Eds., Geothermal Systems: Principles and Case Histories, (J. Wiley & Sons, New York), 109-143.

Geosystems, 1987a, Investigaciones Geofísicas en el Estudio de Prefactibilidad del Area de El Valle de Antón, II. Geoeléctrica, unpublished consulting report prepared for the Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación, Panamá, 100 pp.

Geosystems, 1987b, Investigaciones Geofísicas en El Estudio de Prefactibilidad del Area de El Valle de Antón, III. Gravimetría, unpublished consulting report prepared for the Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación, Panamá, 15 pp.

Goff, F. E., Truesdell, A. H., Grigsby, C. O., Janik, C. J., Shevenell, L. A., Paredes, J. R., Gutiérrez, J. W., Trujillo, Jr., P. E., and Counce, D. A., June 1987, Hydrogeochemical Investigation of Six Geothermal Sites in Honduras, Central America, Los Alamos National Laboratory report LA-10785-MS, 168 pp.

Marinelli, G., Duprat, A., Fournier, R., Hanold, R., and Ungemach, P., April 1986, Joint IRHE-IDB-OLADE Project, National Geothermal Reconnaissance and Barú- Colorado Complex Prefeasibility Study Report of the Third Meeting of the Advisory Panel, 26 pp.

Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), 1986, Unpublished data, Panamá.

Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), 1985, Estudio de Reconocimiento de Los Recursos Geotérmicos de la República de Panamá, 59 pp.

Smith, R. L., and Shaw, H. R., 1975, "Igneous Related Geothermal Systems," U.S. Geol. Surv. Circular 726, 58-83.

APPENDIX

HYDROGEOCHEMICAL DATA

TABLE A-I

LOCATION, FIELD DATA, AND COMMENTS FOR THERMAL AND NONTHERMAL WATERS IN PANAMA

Field No.	Area Name	Location UTM Grid Coord.	Sheet No.	Topographic Sheet Name	Temp (°C)	Field pH	Lab Eh (mV)	Field Conduc. (µS/cm)	Flow Rate (ℓ/s)	Comments
Chitré-Calobre Region										
PA-67	San Francisco	037082	4040 IV	San Francisco	26.1	7.8	443	129.9	--	Stream sample, Veraguas province
PA-69	San Francisco	035118	4040 IV	San Francisco	24.9	7.99	417	94.5	100	" " " "
PA-71	San Francisco	108111	4040 IV	San Francisco	25.1	7.95	439	125	>200	" " " "
PA-73	Calobre	135108	4040 IV	San Francisco	24.9	7.85	411	103.6	--	" " " " , issues from basalt
PA-75	Calobre	161148	4040 IV	San Francisco	24.9	8.63	453	80.3	--	River sample, Veraguas province, flows through basalt
PA-77	Calobre	188179	4040 IV	San Francisco	25.5	7.26	446	33.6	10	Stream sample, Veraguas province
PA-79	Los Pozos, Calobre	215283	4041 III	La Yeguada	53.1	7.75	419	2760	--	Well sample near Río Las Guías, Veraguas province
PA-81	Los Pozos, Calobre	215295	4041 III	La Yeguada	22.7	8.30	416	289	50	River sample taken near thermal manifestation, Veraguas province
PA-83	Los Pozos, Calobre	219280	4041 III	La Yeguada	22.5	8.24	445	310	--	River sample taken near thermal manifestation, Veraguas province
PA-85	Los Pozos, Calobre	216288	4041 III	La Yeguada	44.1	7.58	398	2580	1	Hot spring sample, Veraguas province
PA-87	Los Pozos, Calobre	216288	4041 III	La Yeguada	51.3	7.49	438	2750	--	" " " " "
PA-89	Viento Abajo	101242	4041 III	La Yeguada	26.7	5.97	452	215	1	Cold spring issues from fault at base of Cerro Esquinado; deposits $Fe(OH)_3 \times H_2O$, Veraguas province
PA-95	Viento Abajo	104233	4041 III	La Yeguada	26.1	6.44	416	218	<<0.1	Cold spring, Veraguas province
PA-97	Barrera Grande	105336	4041 III	La Yeguada	22.2	7.30	453	56.6	--	River sample, flows through basaltic conglomerate; Veraguas province
PA-99	La Yeguada	149303	4041 III	La Yeguada	29.9	6.02	423	917	4	Warm spring sample, Veraguas province
PA-101	La Yeguada	149301	4041 III	La Yeguada	27.5	6.45	419	934	0.2	" " " " "
Pueblo Nuevo										
PA-103	Pueblo Nuevo	118410	4041 IV	Latún	39.4	6.31	390	3230	--	Warm spring sample, Veraguas province
PA-105	Pueblo Nuevo	127410	4041 IV	Latún	20.9	7.05	410	89.3	--	Stream sample, Veraguas province
El Valle de Antón										
PA-107	Tambo	748623	4142 III	Tula	24.4	7.50	434	101.3	50	Cold spring, Coclé province
PA-109	El Valle	803619	4142 III	Tula	30.6	6.15	338	10920	--	Warm spring, Coclé province
PA-111	El Valle	804618	4142 III	Tula	29.3	6.18	332	10890	--	" " " "
PA-113	Chiriquí Abajo	803623	4142 III	Tula	24.8	6.89	406	391	--	Stream sample, Coclé province
PA-115	Bejuco	805604	4142 III	Tula	25.2	7.29	468	58.6	--	River sample, Coclé province
PA-117	El Valle, Los Pozos	948502	4141 I	El Valle	37.9	6.00	400	2950	--	Warm spring, Coclé province
PA-119	El Valle, Los Pozos	948502	4141 I	El Valle	37.2	6.27	400	2620	Seep	" " " "
PA-121	El Valle, Los Pozos	946503	4141 I	El Valle	23.1	7.54	426	123.5	--	River sample, Coclé province
Olá Area										
PA-123	Huacas del Quiché	281373	4041 II	Olá	25.4	5.18	389	1734	3	Warm spring, issues CO_2; Coclé province
PA-125	San Roquito	342337	4041 II	Olá	27.2	8.41	414	118.5	--	Samples of Río San Antonio, Coclé province
Miscellaneous Waters										
PA-65	San Juan	--	3940 I	--	24.9	8.25	424	58.7	--	River sample, Veraguas province
PA-91	Unnamed	--	--	--	24.5	7.18	451	99.9	--	" " " "
PA-93	Unnamed	--	--	--	25.8	6.32	366	7780	0.01	Cold spring near the Río Salitre, Veraguas province

TABLE A-II

MAJOR ELEMENT ANALYSES (in mg/ℓ) FOR THERMAL AND NONTHERMAL WATERS IN PANAMA

Field No.	Area Name	Temp. (°C)	Lab. pH	SiO_2	Ca	Mg	Sr	Na	K	Li	CO_3	HCO_3	SO_4	Cl	F	Br	B	TDS	Σcat	Σan	bal
Chitré-Calobre Region																					
PA-67	San Francisco	26.1	7.73	38[a]	18.0	4.3	0.14	4.0	0.7	<0.02	0	91.5	<0.5	0.9	0.06	<0.1	<0.02	155	1.468	1.551	-0.055
PA-69	San Francisco	24.9	7.77	26[a]	11.0	3.8	0.08	3.6	0.6	<0.02	0	63.4	2.4	0.7	0.08	<0.1	<0.02	111	1.068	1.114	-0.042
PA-71	San Francisco	25.1	7.88	36[a]	16.2	4.9	0.12	4.1	0.6	<0.02	0	91.5	<0.5	0.8	0.06	<0.1	0.03	153	1.445	1.527	-0.055
PA-73	Calobre	24.9	7.81	38[a]	13.4	3.8	0.12	4.1	0.5	<0.02	0	74.4	<0.5	0.5	0.06	<0.1	0.06	133	1.238	1.240	-0.002
PA-75	Calobre	24.7	7.63	29	9.2	2.0	0.08	6.2	1.7	<0.02	0	54.9	0.5	1.9	0.07	<0.1	0.06	106	0.950	0.970	-0.022
PA-77	Calobre	25.5	7.09	42[a]	2.4	0.48	0.06	3.4	2.4	<0.02	0	24.4	<0.5	0.7	0.06	<0.1	0.03	35	0.402	0.423	-0.052
PA-79	Las Pozos, Calobre	53.1	7.59	85	260	2.5	0.94	472	2.7	0.04	0	48.8	1220	225	0.29	0.6	3.07	2322	33.785	32.808	0.029
PA-81	Los Pozos, Calobre	22.7	7.91	38[a]	41.8	6.7	0.18	10.4	0.6	<0.02	0	119.6	53.3	0.4	0.14	<0.1	0.08	268	3.114	3.102	0.004
PA-83	Los Pozos, Calobre	22.5	7.90	35	43.2	6.6	0.18	14.8	0.9	<0.02	0	117.1	61.2	3.0	0.14	<0.1	0.08	283	3.376	3.306	0.021
PA-85	Los Pozos, Calobre	44.1	7.73	85	244	2.6	0.94	455	2.9	0.06	0	81.0[b]	1150	231	0.27	0.8	3.06	2174	32.41	31.94	0.015
PA-87	Los Pozos, Calobre	51.3	7.76	84	241	2.5	0.92	438	2.6	0.06	0	56.1	1100	223	0.27	0.4	3.01	2153	31.364	30.356	0.033
PA-89	Viento Abajo	26.7	7.73	78[a]	9.3	2.9	0.22	38	4.9	0.21	0	103.9	10.6	24.8	0.10	<0.1	0.40	217	2.920	2.644	0.099
PA-95	Viento Abajo	26.1	7.66	59	22.2	4.1	0.20	6.3	5.1	<0.02	0	85.4	22.5	0.9	0.10	<0.1	<0.02	212	2.190	1.903	0.140
PA-97	Barrera Grande	22.2	7.32	25[a]	5.0	0.76	0.10	4.9	3.0	0.04	0	31.7	<0.5	2.9	0.06	<0.1	<0.02	70	0.646	0.604	0.066
PA-99	La Yeguada	29.9	8.22	90	135	21.8	1.60	83	5.8	0.12	0	707	10.6	3.3	0.37	<0.1	0.10	1061	12.349	11.944	0.033
PA-101	La Yeguada	27.5	8.34	89	140	20.0	1.42	78	5.5	0.14	8.4	668	11.0	2.9	0.28	<0.1	0.10	1032	12.360	11.615	0.062
Pueblo Nuevo																					
PA-103	Pueblo Nuevo	39.4	7.86	135[a]	603	77.9	7.86	317	14.9	0.44	0	1365[b]	1070	232	0.21	0.6	1.16	3698	51.52	51.43	0.002
PA-105	Pueblo Nuevo	20.9	7.29	21	10.2	1.5	0.18	5.9	1.5	0.02	0	29.3	11.8	3.1	0.08	<0.1	<0.02	88	0.952	0.868	0.092
El Valle de Antón																					
PA-107	Tambo	24.4	7.5	38[a]	8.8	3.2	0.16	8.3	2.0	0.04	0	46.4	3.3	7.8	0.08	<0.1	<0.02	111	1.134	1.053	0.075
PA-109	El Valle	30.6	8.36	35[a]	264	71.0	11.4	2630	111	1.79	13.2	1911[b]	1750	2594	2.03	4.3	6.14	9372	138.16	142.99	-0.034
PA-111	El Valle	29.3	8.35	30[a]	262	68.5	11.5	2670	111	1.91	12.0	1911[b]	1770	2591	2.09	4.2	6.14	9423	139.61	143.29	-0.026
PA-113	Chiriquí Abajo	24.8	7.43	23[a]	9.8	2.7	0.32	77	4.5	0.06	0	79.2[b]	47.0	71.8	0.20	<0.1	0.13	295	4.253	4.328	-0.018
PA-115	Bejuco	25.2	7.19	32[a]	5.4	2.0	0.12	6.2	1.3	<0.01	0	31.0	<0.5	6.0	0.06	<0.1	<0.02	82	0.747	0.725	0.031
PA-117	El Valle, Los Pozos	37.9	8.16	134	102	62.5	3.54	529	28	0.80	0	529	23.7	863	0.42	2.0	1.49	2287	34.29	33.42	0.026
PA-119	El Valle, Los Pozos	37.2	8.07	130[a]	94	58.9	3.06	400	19	0.56	0	674[b]	22.4	709	0.26	1.5	1.20	1757	27.87	27.82	0.002
PA-121	El Valle, Los Pozos	23.1	7.62	63	8.4	2.7	0.2	14.9	2.1	0.02	0	58.6	<0.5	12.3	0.09	<0.1	<0.02	163	1.367	1.320	0.035
Olá Area																					
PA-123	Huacas del Quiché	25.4	7.77	51[a]	86.8	18.8	1.92	245	12.1	0.41	0	109[b]	53.4	483	0.12	1.6	1.59	984	17.04	16.09	0.058
PA-125	San Roquito	27.2	7.86	36	13.8	3.5	0.2	6.9	1.3	<0.02	0	73.2	<0.5	2.9	0.09	<0.1	<0.02	144	1.318	1.383	-0.048
Miscellaneous Waters																					
PA-65	San Juan	24.9	7.19	19[a]	5.2	1.4	0.08	4.6	1.2	<0.02	0	29.3	4.4	3.3	0.07	<0.1	0.03	67	0.633	0.670	-0.057
PA-91	Unnamed	24.5	7.80	26	13.5	2.7	0.14	5.1	1.6	<0.02	0	61.0	4.2	0.8	0.10	<0.1	<0.02	116	1.198	1.116	0.071
PA-93	Unnamed	25.8	8.18	40[a]	331	70.1	8.50	1490	143	4.8	0	1196	135	2293	0.53	7.7	8.9	5730	91.516	86.766	0.053

[a] Field measured values of SiO_2.

[b] Field measured values of $HCO_3^- + CO_3^=$.

TABLE A-III

TRACE ELEMENT ANALYSES (in mg/ℓ) FOR THERMAL AND NONTHERMAL WATERS IN PANAMA

Field No.	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	NH_4	Ni	NO_3	Pb	PO_4	Rb	Sb	Se	Zn
Chitré-Calobre Region																					
PA-67	<0.1	<0.1	0.04	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.04	<0.1	<0.02	<0.1	0.33	<0.001	1.4	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.1	<0.02
PA-69	<0.1	<0.1	0.02	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.12	<0.1	<0.02	<0.1	0.46	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.1	<0.02
PA-71	<0.1	<0.1	0.03	<0.001	<0.001	<0.001	0.004	<0.001	0.06	<0.1	<0.02	<0.1	0.60	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.1	<0.02
PA-73	0.2	<0.1	0.04	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.06	<0.1	<0.02	<0.1	0.66	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	0.002	<0.1	<0.1	<0.02
PA-75	<0.1	<0.1	0.04	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.06	<0.1	<0.02	<0.1	0.13	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	0.002	<0.1	<0.1	<0.02
fPA-77	<0.1	<0.1	0.14	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.02	<0.1	<0.02	<0.1	0.52	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.1	<0.02
PA-79	<0.2	<0.1	0.03	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.02	<0.1	<0.02	<0.1	0.59	<0.001	<1	<0.001	<0.5	<0.001	<0.1	<0.1	<0.02
PA-81	<0.1	<0.1	<0.02	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.02	<0.1	<0.02	<0.1	0.10	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.1	<0.02
PA-83	<0.1	<0.1	0.02	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.02	<0.1	<0.02	<0.1	0.10	<0.001	0.4	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.1	<0.02
PA-85	<0.1	<0.1	0.03	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.02	<0.1	0.15	<0.1	0.90	<0.001	0.8	<0.001	<0.5	<0.001	<0.1	<0.1	<0.02
PA-87	0.2	<0.1	0.03	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.02	<0.1	0.15	<0.1	0.40	<0.001	<1	<0.001	<0.5	<0.001	<0.1	<0.1	<0.02
PA-89	<0.1	<0.1	0.24	<0.001	0.005	0.015	<0.001	<0.001	7.15	0.1	0.38	<0.1	0.03	0.002	<0.1	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.1	0.05
PA-95	<0.1	<0.1	0.04	<0.001	0.005	0.014	<0.001	<0.001	5.76	<0.1	0.66	<0.1	0.03	0.001	<0.1	<0.001	<0.1	0.001	<0.1	<0.1	0.03
PA-97	<0.1	<0.1	0.07	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.08	<0.1	<0.02	<0.1	0.53	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.1	0.03
PA-99	0.1	<0.1	0.39	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.02	<0.1	<0.02	<0.1	0.03	<0.001	1.4	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.1	<0.02
PA-101	<0.1	<0.1	0.40	<0.001	0.003	0.002	0.003	<0.001	1.84	<0.1	1.32	<0.1	0.03	<0.001	3.9	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.1	<0.02
Pueblo Nuevo																					
PA-103	<0.1	<0.1	0.06	<0.001	0.004	0.011	0.004	<0.001	6.06	<0.1	1.22	<0.1	0.38	0.011	<1	<0.001	<0.5	<0.001	0.1	<0.1	0.04
PA-105	<0.1	<0.1	0.07	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.22	<0.1	0.04	<0.1	0.05	<0.001	3.0	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.1	0.01
El Valle de Antón																					
PA-107	<0.1	<0.1	0.08	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	<0.001	0.12	<0.1	0.02	<0.1	0.03	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.1	0.01
PA-109	0.1	<0.1	0.05	<0.001	0.001	0.001	0.003	<0.001	0.06	<0.1	0.14	<0.1	1.33	<0.001	<1	<0.001	<1	0.020	<0.1	<0.1	0.01
PA-111	<0.1	<0.1	0.05	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	0.10	<0.1	0.11	<0.1	1.03	<0.001	<1	<0.001	<1	0.020	<0.1	<0.1	<0.01
PA-113	<0.1	<0.1	0.08	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.08	<0.1	0.02	<0.1	0.96	<0.001	0.7	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.1	<0.01
PA-115	<0.1	<0.1	0.04	<0.001	<0.001	<0.001	0.006	<0.001	0.06	<0.1	<0.02	<0.1	0.07	<0.001	2.8	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.1	<0.01
PA-117	<0.1	<0.1	0.24	<0.001	0.002	0.002	0.003	<0.001	2.92	<0.1	1.32	<0.1	0.03	0.001	2.7	<0.001	<0.5	<0.001	<0.1	<0.1	<0.01
PA-119	<0.1	<0.1	0.20	<0.001	0.002	0.002	0.004	<0.001	3.06	<0.1	1.43	<0.1	0.03	<0.001	<0.1	<0.001	<0.5	<0.001	<0.1	<0.1	0.01
PA-121	<0.1	<0.1	0.04	<0.001	<0.001	0.001	0.006	<0.001	0.24	<0.1	0.04	<0.1	0.03	<0.001	0.6	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.1	<0.01
Olá Area																					
PA-123	<0.1	<0.1	0.35	<0.001	0.004	0.001	0.004	<0.001	0.46	<0.1	0.84	<0.1	0.13	<0.001	<0.1	<0.001	<0.5	<0.001	<0.1	<0.1	0.02
PA-125	<0.1	<0.1	0.04	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.02	<0.1	<0.02	<0.1	0.03	<0.001	6.0	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.1	<0.01
Miscellaneous Waters																					
PA-65	<0.1	<0.1	0.03	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.06	<0.1	<0.02	<0.1	0.4	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.1	<0.02
PA-91	<0.1	<0.1	0.07	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.10	<0.1	0.04	<0.1	0.52	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.001	<0.1	<0.1	<0.02
PA-93	<0.1	<0.1	0.17	<0.001	0.005	0.009	<0.001	<0.001	6.70	<0.1	0.83	<0.1	0.04	0.001	4.9	<0.001	<1	0.001	<0.1	<0.1	<0.02

TABLE A-IV

ISOTOPE DATA FOR THERMAL AND NONTHERMAL WATERS IN PANAMA

Field No.	Area Name	Elev. (m)	Temp (°C)	D(°/₀₀)[a]	$\delta^{18}O$(°/₀₀)[a]
Chitré-Calobre Region					
PA-67	San Francisco	60	26.1	-50.3	-7.14
PA-69	San Francisco	80	24.9	-52.7	-7.50
PA-71	San Francisco	60	25.1	-52.0	-7.25
PA-73	Calobre	60	24.9	-51.1	-7.30
PA-75	Calobre	80	24.9	-56.4	-8.15
PA-77	Calobre	110	25.5	-52.0	-7.34
PA-79	Los Pozos, Calobre	300	53.1	-57.6	-8.19
PA-81	Los Pozos, Calobre	320	22.7	-58.6	-8.50
PA-83	Los Pozos, Calobre	260	22.5	-58.2	-8.42
PA-85	Los Pozos, Calobre	280	44.1	-56.6	-7.85
PA-87	Los Pozos, Calobre	280	51.3	-57.4	-8.22
PA-89	Viento Abajo	280	26.7	-57.1	-7.94
PA-95	Viento Abajo	240	26.1	-54.9	-7.85
PA-97	Barrera Grande	340	22.2	-57.1	-8.33
PA-99	La Yeguada	500	29.9	-61.8	-8.97
PA-101	La Yeguada	500	27.5	-60.9	-8.96
Pueblo Nuevo					
PA-103	Pueblo Nuevo	600	39.4	-51.8	-7.90
PA-105	Pueblo Nuevo	660	20.9	-56.1	-8.40
El Valle de Antón					
PA-107	Tambo	160	24.4	-39.9	-6.24
PA-109	El Valle	200	30.6	-35.6	-6.03
PA-111	El Valle	200	29.3	-36.1	-6.07
PA-113	Chiriquí Abajo	180	24.8	-38.9	-6.10
PA-115	Bejuco	180	25.2	-38.3	-5.87
PA-117	El Valle, Los Pozos	580	37.9	-45.8	-6.62
PA-119	El Valle, Los Pozos	580	37.2	-41.2	-6.64
PA-121	El Valle, Los Pozos	580	23.1	-46.6	-7.11
Olá Area					
PA-123	Huacas del Quiché	360	25.4	-53.1	-7.49
PA-125	San Roquito	220	27.2	-52.8	-7.46
Miscellaneous Waters					
PA-65	San Juan	200	24.9	-48.7	-6.96
PA-91	unnamed	--	24.5	-53.2	-7.56
PA-93	unnamed	--	25.8	-54.1	-7.54

[a] δD and $\delta^{18}O$ reported in °/₀₀ relative to SMOW (Standard Mean Ocean Water).

TABLE A-V

CALCULATED GEOTHERMOMETER TEMPERATURES (°C) FOR THERMAL WATERS IN PANAMA

Field No.	Area Name	Meas. Temp. (°C)	Qtz[a]	Qtz[b]	Chalcedony	Na-K	Na-K-Ca β =4/3	Na-K-Ca β =1/3	Na-K-Ca Mg Corr.	Na-Li
Chitré-Calobre Region										
PA-79	Los Pozos, Calobre	53.1	128	125	101	54	26	62	26	--
PA-85	Los Pozos, Calobre	44.1	128	125	101	58	29	65	29	--
PA-87	Los Pozos, Calobre	51.3	128	125	100	55	26	63	26	--
PA-99	La Yeguada	29.9	131	128	104	188	42	136	42	97
PA-101	La Yeguada	27.5	131	127	103	189	39	135	39	111
Veguada Pueblo Nuevo										
PA-103	Pueblo Nuevo	39.4	155	147	130	160	52	127	52	95
El Valle de Antón										
PA-109	El Valle	30.6	86	89	55	153	179	161	63	57
PA-111	El Valle	29.3	79	83	48	152	179	160	64	60
PA-117	El Valle, Los Pozos	37.9	154	147	130	168	119	154	21	100
PA-119	El Valle, Los Pozos	37.2	152	145	128	161	102	145	20	95
Olá Area										
PA-123	Huacas del Quiché	25.4	103	103	73	163	83	140	58	106
Miscellaneous Water										
PA-93	unnamed	25.8	92	94	61	213	174	193	83	152

[a] Conductively cooled.
[b] Adiabattically cooled.

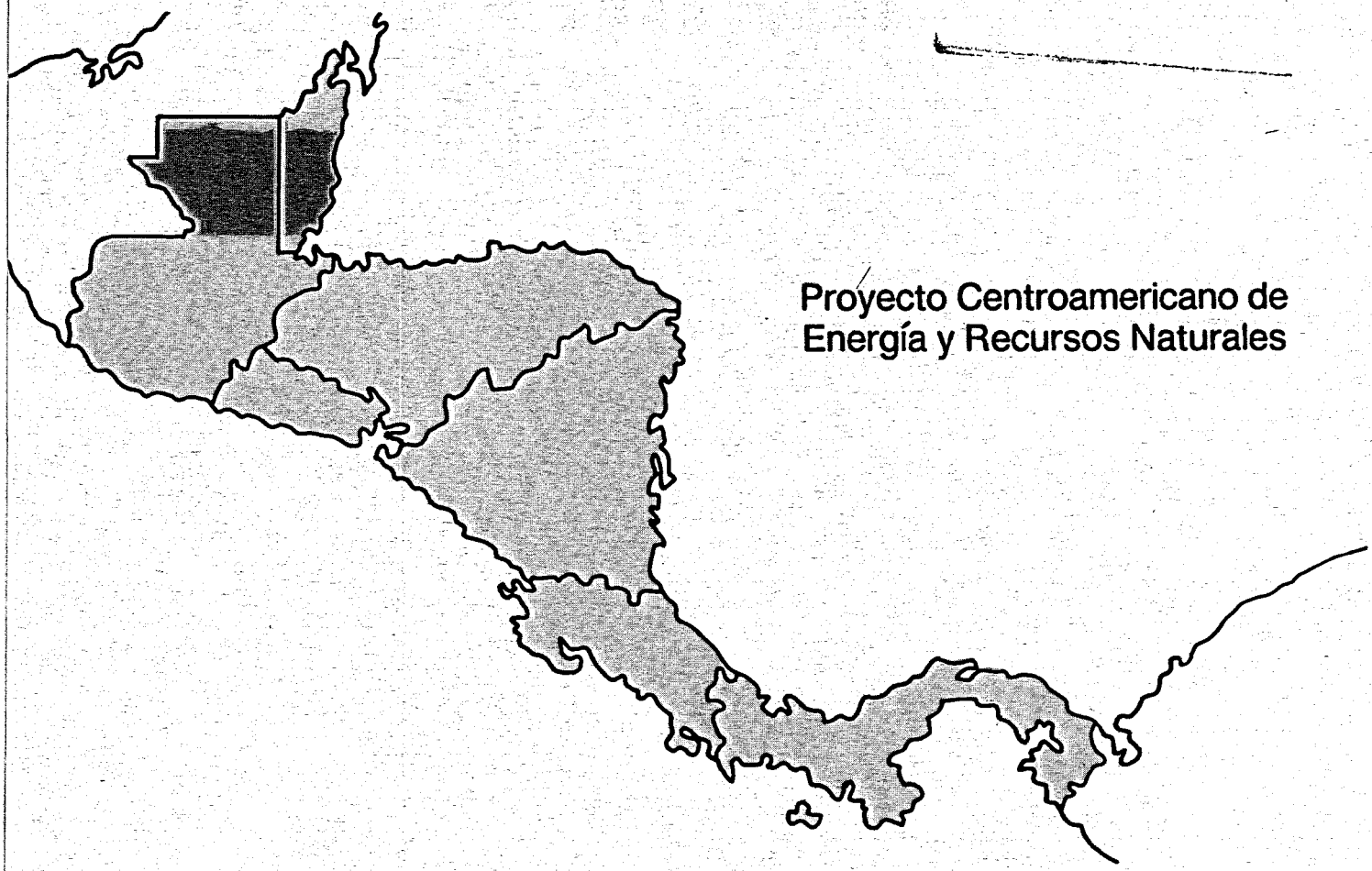
☆U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE: 1989-773-034/00218

LA-11103-MS

Received by OSTI

DEC 07 1989

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 Naturales

Evaluación Preliminar de Aguas Termales y No Termales de Sitios Seleccionados en Panamá, Centroamérica

DO NOT MICROFILM COVER

Los Alamos

Los Alamos National Laboratory
Los Alamos, New Mexico 87545

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED

MASTER

LA-11103-MS

UC-000
Issued: November 1989

Evaluación Preliminar de Aguas Termales y No Termales de Sitios Seleccionados en Panamá, Centroamérica

Lisa Shevenell

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED

MASTER

Los Alamos National Laboratory
Los Alamos, New Mexico 87545

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO vii

RESUMEN 1

I. INTRODUCCION 1

II. GEOLOGIA REGIONAL 5

A. Estructura Tectónica 5
B. Estratigrafía 5

III. AREA CHITRE-CALOBRE (SANTIAGO) 7

A. Geología 7
B. Geoquímica 10
C. Análisis 12

IV. AREA PUEBLO NUEVO 13

V. AREA EL VALLE DE ANTON 13

A. Geología 13
B. Geoquímica 15
C. Análisis 17

VI. AREA OLA 18

VII. CONCLUSIONES 19

VIII. RECOMENDACIONES 21

Etapa 1: Reconocimiento 21
Etapa 2: Muestreo en Detalle 23
Etapa 3: Análisis e Interpretación 23

RECONOCIMIENTOS 23

REFERENCIAS 24

APENDICE: DATOS HIDROGEOQUIMICOS 27

RESUMEN EJECUTIVO

Investigaciones hidrogeoquímicas de cuatro sitios en Panamá han resultado de un esfuerzo conjunto entre los Estados Unidos de América (Laboratorio Nacional de Los Alamos) y Panamá (Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación). El objetivo de las actividades exploratorias fue el de evaluar cada sitio y determinar su potencial geotérmico, por medio de datos hidrogeoquímicos y geológicos.

Las investigaciones iniciales de los sitios termales en Panamá incluyeron las áreas Chitré-Calobre, Pueblo Nuevo, El Valle de Antón y Olá. Se obtuvieron y se analizaron muestras de aguas termales, meteóricas y de manantiales que consisten de la mezcla de ambas. En cada sitio se estimó la temperatura del reservorio y se determinaron las características de los fluidos termales. Dada la variada composición química de los fluidos de estos cuatro sitios, el total de sólidos disueltos varía desde 900 ppm hasta 10.000 ppm. Todos los fluidos muestreados son de origen meteórico y todas las aguas provienen de un reservorio con una temperatura $\leq$160°C. Todas las aguas termales son relativamente bajas en SiO_2 y elementos traza (As, B, Br, F y Li), los cuales son comúnmente altos en fluidos provenientes de reservorios a alta temperatura.

En el área Chitré-Calobre se identificaron cuatro tipos diferentes de agua y las temperaturas máximas estimadas para el reservorio son $\leq$130°C. Unicamente se identificó un fluido termal en el área de Pueblo Nuevo y es improbable que éste se origine en un reservorio de alta temperatura útil. En el área de El Valle de Antón también se identificaron cuatro tipos de fluidos, dos de los cuales son aguas geotermales. Uno de los fluidos termales aparenta tener su origen en un reservorio cuya temperatura es ~160°C. Sin embargo, este fluido podría ser simplemente un agua mineralizada de un reservorio a una temperatura $\leq$65°C, porque el fluido tiene altas concentraciones de Ca, Mg, Na, HCO_3 y SO_4. El otro fluido termal en El Valle de Antón es alto en SiO_2 y puede provenir de un reservorio de 160° a 170°C. Se

identificaron dos tipos de agua en el área de Olá, mas ninguna presenta indicios de que el área posea algún potencial para el desarrollo geotérmico. La única área en Panamá que tal vez posea un considerable potencial geotérmico y que justifique estudios adicionales es el área de El Valle de Antón.

EVALUACION PRELIMINAR DE AGUAS TERMALES Y NO TERMALES DE SITIOS SELECCIONADOS EN PANAMA, CENTROAMERICA

por

Lisa Shevenell

RESUMEN

Treinta y una muestras de aguas termales y no termales fueron obtenidas en Panamá por el Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación y analizadas por la División de Estudios Terrestres y Espaciales del Laboratorio Nacional de Los Alamos, para evaluar el potencial geotérmico de cuatro áreas distintas. A cada muestra se le hicieron análisis químicos e isotópicos. Dado que se presentaron muestras de diversas áreas, la química de las mismas es variada, teniendo los fluidos termales un total de sólidos disueltos que varía entre 900 hasta cerca de 10.000 mg/ℓ. Todas las muestras de agua estudiadas son de origen meteórico y ninguna de las aguas termales exhibe un enriquecimiento de ^{18}O, el cual es característico de un intercambio isotópico a alta temperatura entre agua y roca. En las cuatro áreas, las temperaturas calculadas por geotermómetro indican temperaturas máximas de equilibrio bajo la superficie dentro de un reservorio de menos de 160°C.

I. INTRODUCCION

A través de un esfuerzo coordinado entre el Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE) y el Laboratorio Nacional de Los Alamos (Los Alamos) se obtuvieron y analizaron 31 muestras de aguas termales y no termales de diversas áreas de Panamá (Figura 1). Se combinan los datos geológicos y estructurales locales con los análisis químicos e isotópicos para elaborar interpretaciones preliminares del potencial geotérmico. Las muestras de agua fueron obtenidas por el IRHE,

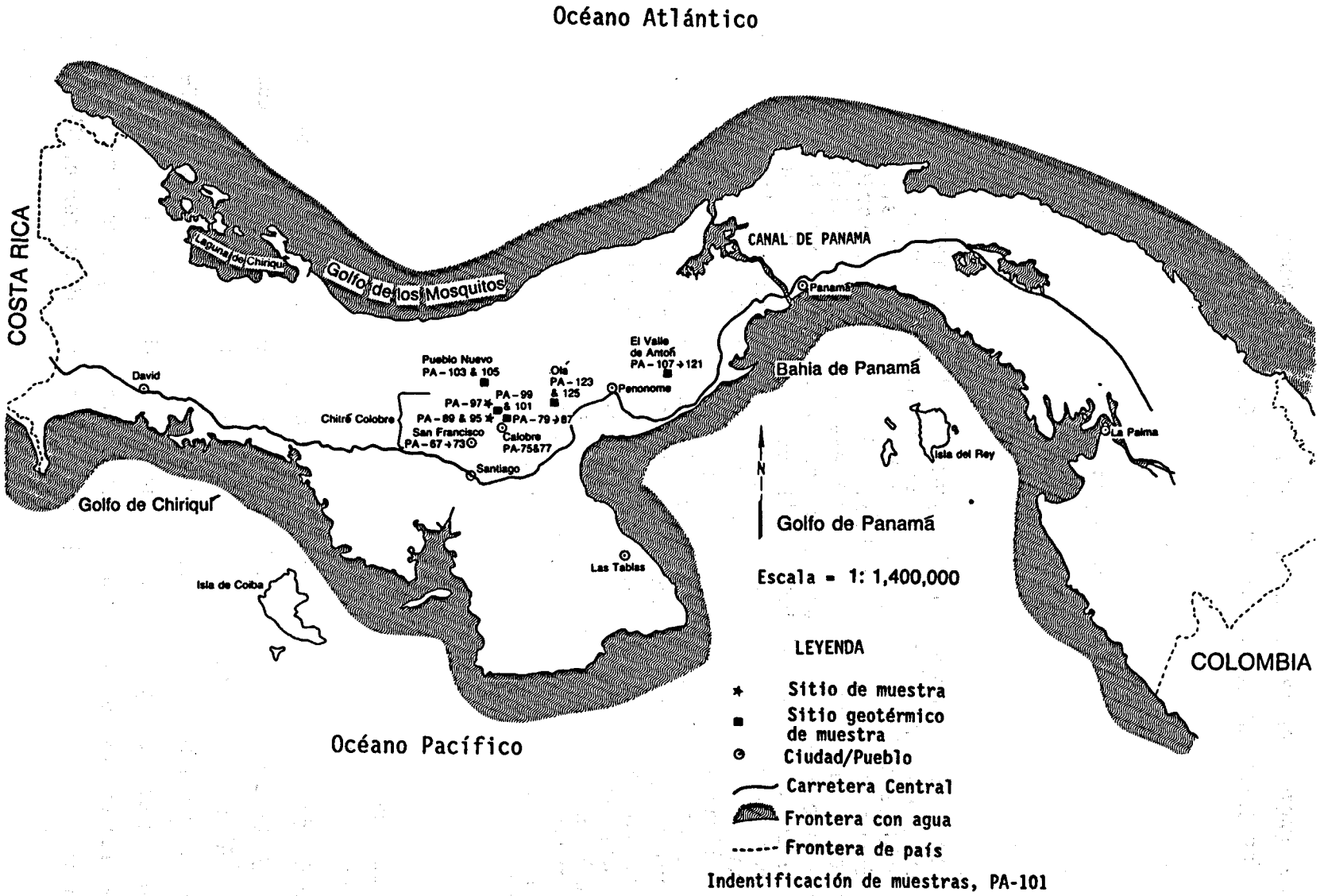


Figura 1. Mapa indicando el origen de las muestras en Panamá.

y la química de elementos principales y de traza de los fluidos fue determinada por P. E. Trujillo, Jr. y D. A. Counce en Los Alamos. Los análisis de isótopos estables fueron hechos en Dallas, Texas en el Instituto para el Estudio de la Tierra y del Hombre.

Se obtuvo un número reducido de muestras de cada una de las áreas de estudio (Chitré-Calobre, Pueblo Nuevo, El Valle de Antón y Olá) en el occidente de Panamá (Figura 1). Los datos disponibles son adecuados para elaborar interpretaciones y generalizaciones preliminares sobre el potencial geotérmico de cada área. Los fluidos termales son catalogados por su tipo de agua y después son comparados con otros fluidos en el área. Luego los resultados de este estudio preliminar son comparados con los presentados en el informe de síntesis de Barberi de 1986 y con los datos de 1986 proporcionados por la Organización Latinamericana de Energía (OLADE).

La química de las muestras es variada ya que se proporcionaron aguas de diversas áreas. En general, las aguas termales son bajas en concentraciones de SiO_2 y bajas en elementos de traza (As, B, Br, F y Li), todo lo cual es generalmente indicativo de altas temperaturas (Tablas A-I a la A-III). Los contenidos de deuterio y ^{18}O de todas las aguas termales y no termales indican que todos los fluidos son de origen meteórico (Tabla A-IV). En una gráfica de δD contra $\delta^{18}O$ (Figura 2), todas las aguas coinciden con o caen en una línea paralela a la línea de agua meteórica mundial (Craig, 1961). Usando los datos de isótopos estables, se calculó una línea de ajuste óptimo para encontrar la línea de agua meteórica en Panamá ($\delta D = 7.89\ \delta^{18}O + 7.42$). Una línea de agua meteórica similar ha sido calculada para Honduras ($\delta D = 7.76\ \delta^{18}O + 8.29$), Goff y otros, 1987. No es evidente un enriquecimiento de ^{18}O en la gráfica de isótopos estables, lo cual indica que no hay un intercambio isotópico a alta temperatura entre agua y roca en ninguno de los sitios investigados. Por lo tanto, a primera instancia, ninguno de los fluidos termales en Panamá aparenta ser originario de un reservorio de alta temperatura ($\leq$200°C).

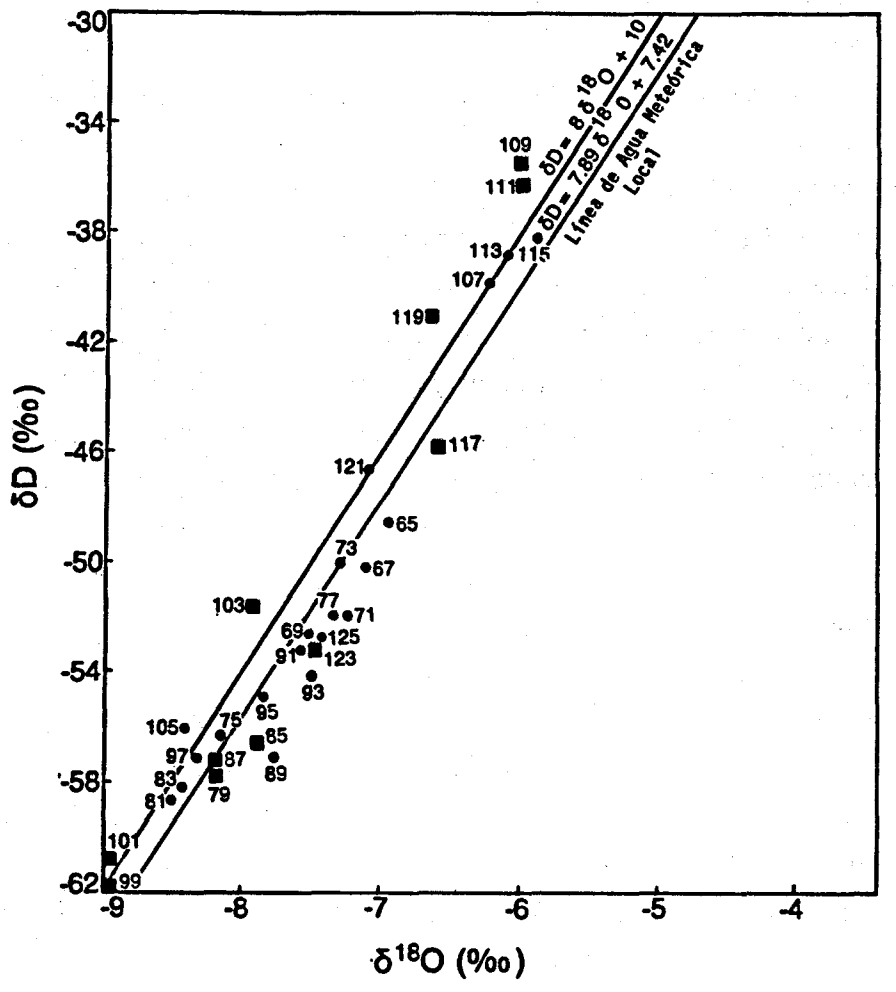


Figura 2. Gráfica de δD contra $\delta^{18}O$ de aguas termales (cuadrados) y no termales (círculos) de Panamá. Note que todos los puntos caen sobre o en una línea paralela a la línea de agua meteórica mundial. La línea indentificada con $\delta D = 7.89\ \delta^{18}O + 7.42$ es una línea de regresión lineal de cuadrados mínimos, la cual es calculada empleando las 31 muestras de agua para establecer la línea de agua meteórica de Panamá. Todas las aguas muestreadas, incluyendo las aguas misceláneas, aparecen en la gráfica.

II. GEOLOGIA REGIONAL

A. Estructura Tectónica

La estructura y evolución tectónica de Panamá son complejas y sólo han sido estudiadas en forma limitada. La geología de Panamá es resultado de la interacción de las placas de Cocos, de Nazca y del Caribe, con el Panamá ubicado en el extremo sur de la placa del Caribe. Las placas de Cocos y Nazca están en contacto a lo largo de la zona de fractura Panamá, la cual tiene una tendencia norte-sur y se ubica al sur de Panamá. Este sistema de fractura norte-sur se inició hace 12 millones de años (Ma), con la presencia de extensión entre las placas de Cocos y Nazca, lo cual creó muchas fallas transformantes. El lector debería consultar el informe de 1985 de la OLADE, para disponer de una descripción geológica más detallada de la región, incluyendo mapas del área.

B. Estratigrafía

Las unidades litológicas aquí presentadas son identificadas y analizadas en datos de la OLADE (1985) y se presentan de acuerdo con la edad decreciente de las unidades.

Las rocas Precretácicas de Panamá se componen de rocas volcánicas básicas y ultrabásicas, incluyendo lavas basálticas, picritas, gabros, diabasas y peridotitas. Algunas de las lavas básicas fueron aparentemente depositadas en un ambiente submarino, según lo indicado por estructuras de almohadilla. Las rocas Precretácicas han sido metamorfoseadas y en la actualidad presentan un color verdoso. Las lavas básicas se encuentran localmente asociadas con sedimentos volcaniclásticos, conglomerados y pedernales.

A lo largo del Río Changuinola y en la Provincia de Bocas del Toro, afloran rocas sedimentarias fosilíferas y éstas han sido catalogadas como pertenecientes al Cretáceo superior. La secuencia sedimentaria incluye

una serie de calizas con biomicritas batiales que exhiben fracturas concoidales. Las calizas se encuentran interestratificadas localmente con lavas y tobas. Durante el Paleoceno y el Eoceno inferior, el emplazamiento de plutones tuvo como resultado el metamorfismo de contacto de las rocas Cretácicas.

Dos formaciones nombradas la Gatuncillo y la Tonosí, son del Eoceno y son predominantemente rocas sedimentarias interestratificadas con rocas volcánicas. La formación Gatuncillo (Eoceno inferior) se compone de limolita y arenisca, cubiertas éstas por una delgada capa de caliza algácea. La Formación Tonosí (Eoceno medio) se compone primordialmente de areniscas argiláceas.

Las rocas sedimentarias del Oligoceno están también interestratificadas con rocas volcánicas. La máxima actividad volcánica del período Terciario ocurrió durante el Oligoceno, con aglomerados y flujos de lava. Se han identificado cuatro formaciones del Oligoceno: la Aruza, la Obispo, la Senosri y la Uscari. La Formación Aruza se compone predominantemente de margas (calizas impuras), ricas en foraminífera con arcillas subordinadas. La Formación Obispo se compone principalmente de depósitos piroclásticos con areniscas, calizas y conglomerados subordinados y la Formación Senosri consiste de areniscas, calizas y conglomerados volcánicos. Finalmente, la formación Uscari se compone de pizarras y areniscas interestratificadas con ceniza volcánica, la cual forma la capa superior de la secuencia sedimentaria-volcánica del Oligoceno.

Se han identificado y nombrado siete formaciones del Mioceno. La unidad inferior es la Formación Boca, la cual se compone predominantemente de tobas interestratificadas con areniscas, conglomerados y ceniza. Suprayaciendo a la Formación Boca se encuentra la Formación Cucaracha del Mioceno inferior, la cual es predominantemente arcilla arenosa de origen marino. Las areniscas calcáreas con tobas y caliza coralina de la

Formación Culebra forman la capa superior de la secuencia del Mioceno bajo. En seguida, se depositaron las Formaciones Gatún y San Pedrito en el Mioceno medio. La Formación Gatún se compone de arenisca calcárea de fino grano con limolitas, conglomerados y tobas mientras que la Formación San Pedrito consiste de sedimentos volcaniclásticos marinos. Finalmente, en el Mioceno superior, se encuentran las Formaciones Chagres y Cañazas. La Chagres es una arenisca masiva que culmina localmente en caliza. Suprayaciendo a la Formación Chagres están las lavas y tobas subaéreas de la Formación Cañazas.

Las rocas del Plioceno generalmente se componen de conglomerados, areniscas y limolitas pertenecientes a la Formación Punta Burica. Finalmente, la actividad Cuaternaria resultó predominantemente en el depósito de sedimentos fluviales, lacustres y costales.

A través de la conocida historia geológica de Panamá, el país ha pasado por múltiples eventos de depósito de rocas sedimentarias, calizas, lavas y tobas. Parece que Panamá ha tenido una larga historia de actividad volcánica esporádica hasta fechas muy recientes.

III. AREA CHITRE-CALOBRE (SANTIAGO)

A. Geología

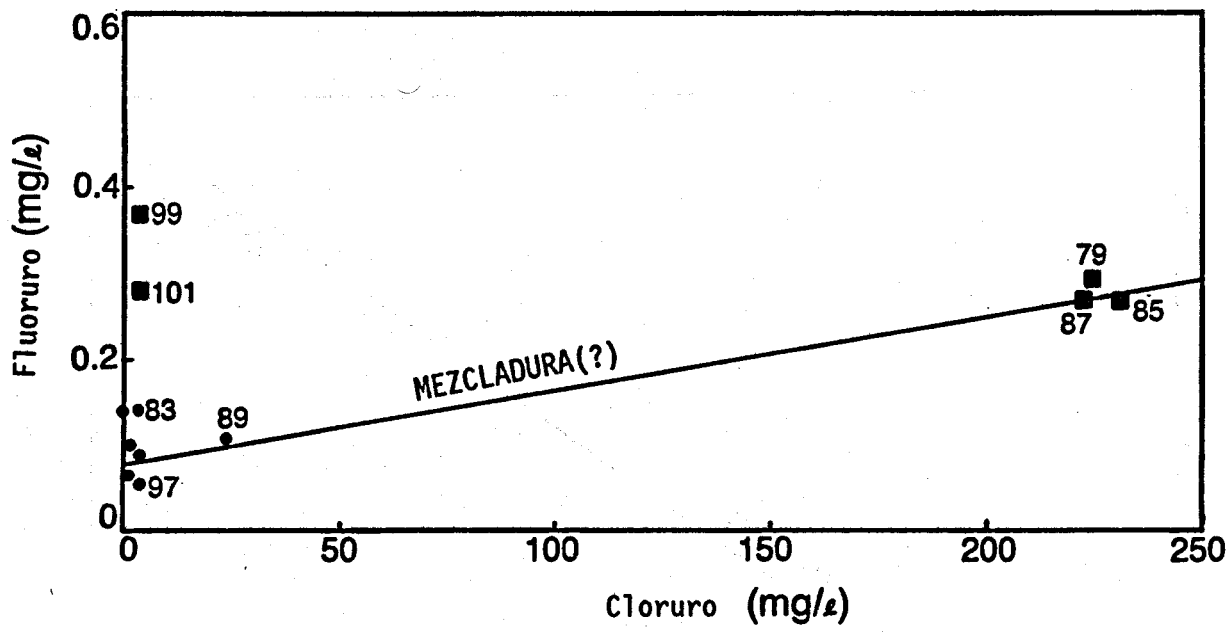
La región Chitré-Calobre se localiza en las hojas topográficas de San Francisco y La Yeguada; la ubicación de las aguas muestreadas se presenta en la Tabla A-I y se ilustra en la Figura 1. El área Chitré-Calobre se caracteriza por actividad volcánica de larga duración, la cual se concentró durante dos períodos de tiempo. Los mayores volúmenes de volcanismos asociados con el área Chitré son flujos de lava ignimbríticas y andesíticas.*

*R. J. Hanold, comunicación personal, ESS-DOT, Laboratorio Nacional de Los Alamos (abril de 1987).

Subyaciente a la región volcánicamente activa está un basamento ígneo fracturado de edad Terciaria y que incluye cuerpos intrusivos de composición desde intermedia a silícica. Estos cuerpos intrusivos cortan a través de lavas andesíticas y basálticas del Eoceno-Oligoceno (?). Las dos unidades volcánicas más importantes que suprayacen las rocas basamentales de la región son las Formaciones Cañazas y la Yeguada. La Formación Cañazas consiste de lavas andesíticas del Mioceno medio y contenido en menor proporción de aglomerados y piroclásticos. La Formación La Yeguada consiste predominantemente de ignimbritas del período Mioceno medio a superior. La actividad volcánica cesó durante el Mioceno superior, hace aproximadamente 9 Ma (Barberi 1986).

La actividad volcánica se reanudó en el Plioceno tardío y continuó hasta tiempos recientes. La mayoría del volcanismo Cuaternario se caracteriza por dacitas de bajo volumen, las cuales resultan de la cristalización fraccionada de magmas básicas a poca profundidad (Barberi 1987). La Montañuela, un pequeño cono de dacita de 2.43 Ma, está truncado por una pequeña caldera. En el área se han identificado otros dos domos de dacita jóvenes: El Picacho de Olá (1,9 Ma) y El Esquinado (1,7 Ma). Ambos domos están asociados con flujos de ceniza y aludes de residuos. Un pequeño cono de basalto shoshonítico llamado Media Luna fue emplazado en una enorme y vieja caldera y su edad es de menos de 0,1 millones de años. El volcán silícico más joven en el área es El Castillo, con una edad de 0,2 millones de años; todos los manantiales termales emanan cerca a este volcán (Barberi 1987).

Desde el período Mioceno, la intensa actividad volcánica fracturó las rocas del área Chitré-Calobre. Tanto las rocas basamentales como las rocas volcánicas suprayacientes están altamente fracturadas, siendo las fracturas probablemente tanto el conducto para el paso a la superficie de los fluidos termales y la porosidad necesaria para contener un reservorio. Los sistemas de fractura más recientes consisten de sistemas de falla extensionales este-oeste, los cuales actúan como conductos para las rocas volcánicas recientes y posiblemente constituyen el conducto para el flujo de fluidos (Barberi 1986).



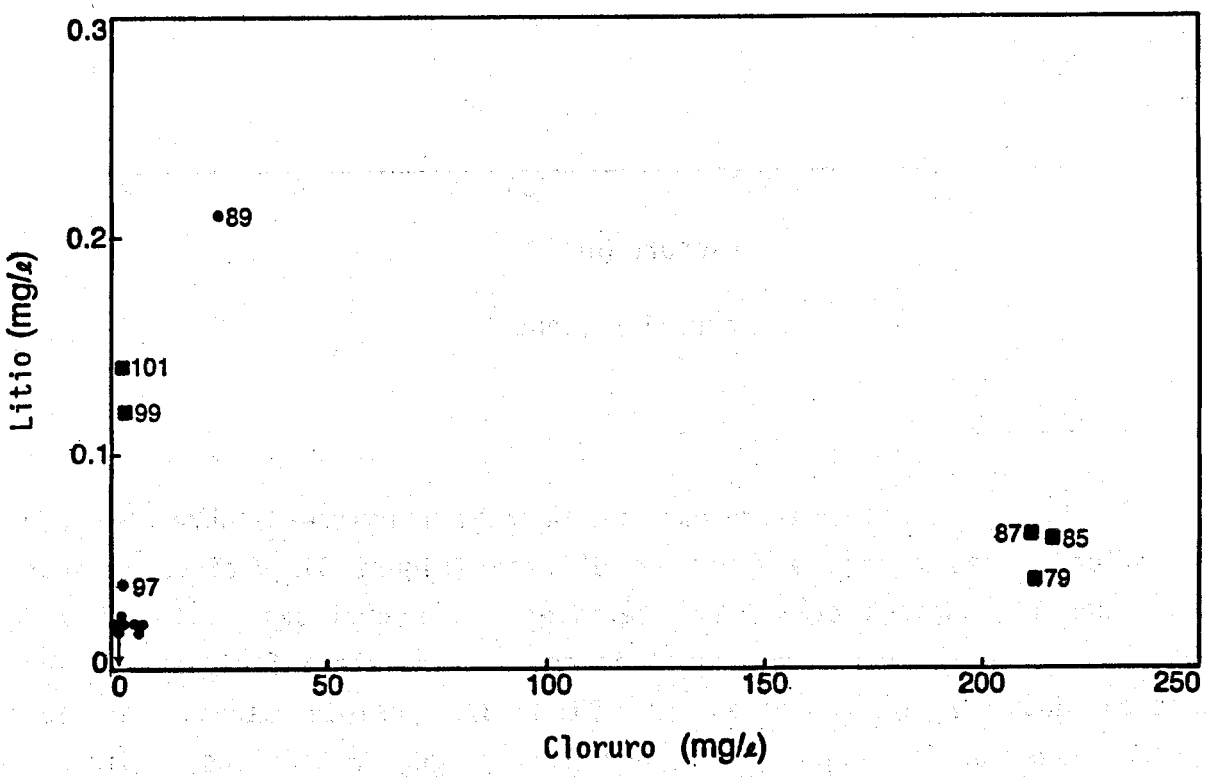


Figura 3. Gráficas de Li, F y B contra Cl de aguas termales y no-termales del área Chitré-Calobre. Las aguas meteóricas están representadas con círculos mientras que las aguas termales o posiblemente termales están representadas por cuadrados. Los números se refieren a los números de muestra enumerados en las tablas del Anexo.

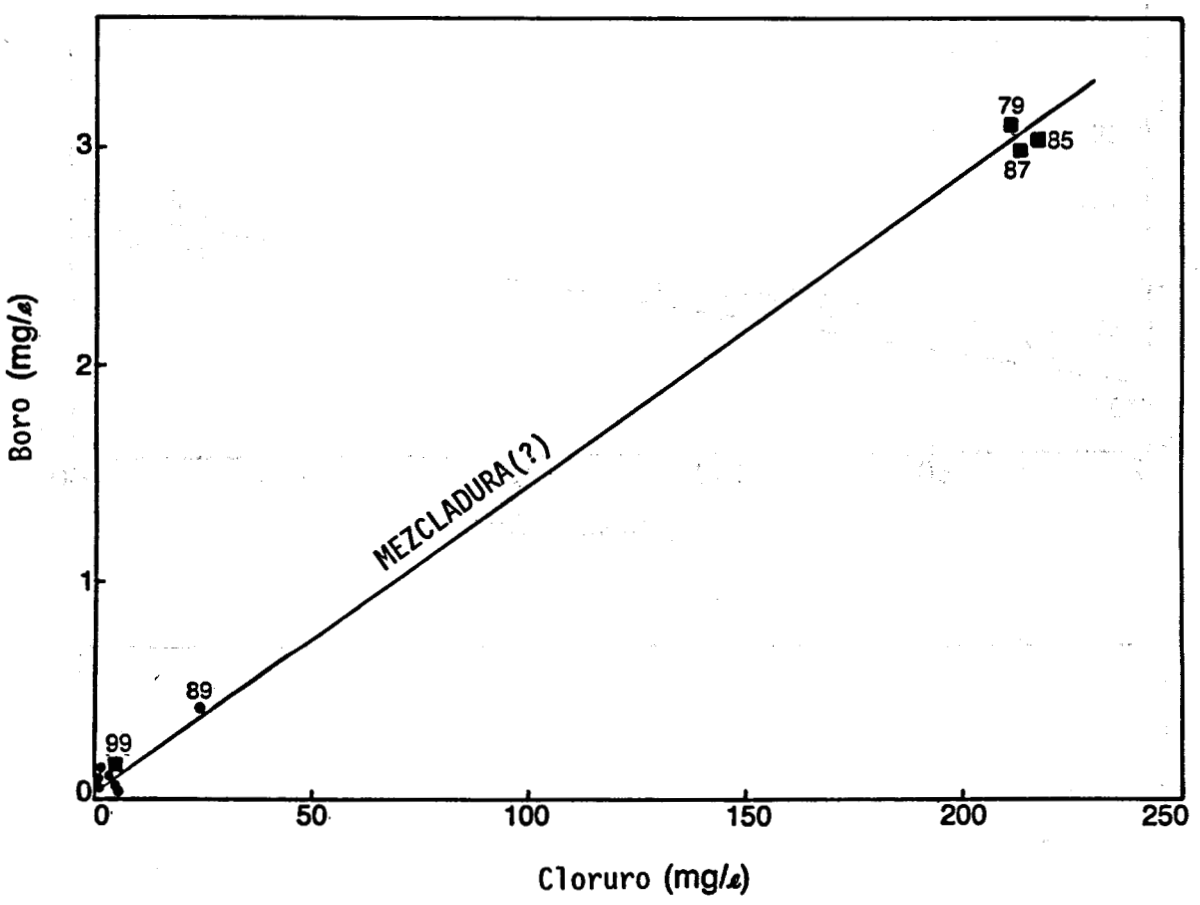


Figura 3. (cont.)

B. Geoquímica

De las 16 aguas muestreadas en la región Chitré-Calobre, se han identificado tres tipos de aguas en el área (Figura 3) y cinco fluidos pueden ser catalogados como aguas termales. Las gráficas de F, Li y B contra Cl de la Figura 3 muestran tres grupos distintos: fluidos termales representados por las muestras 79, 85 y 87; posibles aguas termales representadas por las muestras 89, 99 y 101; y aguas meteóricas, indicadas por un cúmulo de puntos (círculos) y representadas por las muestras 67, 69, 71, 73, 75, 77, 81, 83, 95 y 97. Las aguas meteóricas, en forma de escurrimientos dentro de arroyos y ríos y flujo de agua subterránea a baja profundidad que emana como manantiales fríos, tienen bajas concentraciones

de Cl (<4 mg/ℓ) y son bajas en total de sólidos disueltos (TSD) (<300 mg/ℓ). Las concentraciones de amonio son relativamente altas en las aguas meteóricas (hasta 0,6 mg/ℓ). Estas altas concentraciones de NH_4 pueden representar anomalías de fugas de vapor; sin embargo, es también probable que la presencia de NH_4 está controlada por contribuciones cercanas a la superficie. Otros elementos traza indicativos de una contribución termal (Li, B, Br) son bajos en todas las aguas meteóricas.

El primer juego de manantiales que están clasificados como aguas termales (44° a 55°C) son fluidos Na-SO_4-Cl (números de muestra PA-79, -85 y -87; ver Tabla A-II). Las tres aguas aparentan tener el mismo origen, cada una conteniendo cantidades considerables de Ca (>200 mg/ℓ) y muy bajo K (<3 mg/ℓ) relativo al Na (>400 mg/ℓ). Las concentraciones de Li y Br son bajas, mientras que el B es moderado (hasta 3 mg/ℓ). Debido a las bajas concentraciones de K, el geotermómetro Na-K-Ca (β = 4/3) da valores inferiores a las temperaturas de descarga (Tabla A-V). Las concentraciones de sílice son bajas (≥85 mg/ℓ) y es la opinión de la autora que el SiO_2 está controlado por una fase relativamente soluble, tal como cristobalita o sílice amorfo. Las temperaturas máximas calculadas a través del geotermómetro de cuarzo son de 125°C; sin embargo, los geotermómetros de Na-K y Na-K-Ca indican temperaturas de reservorio inferiores a 60°C. Por lo tanto, yo considero que estos fluidos no se originan de un reservorio de alta temperatura útil.

El segundo tipo de fluido termal se muestra en la química de las muestras 99 (30°C) y 101 (28°C), las cuales son de tipo Ca-HCO_3. Estos fluidos tienen muy bajas concentraciones de Cl (~mg/ℓ), B (0,10 mg/ℓ) y Br (<0,1 mg/ℓ), lo cual puede implicar que los fluidos de PA-99 y -101 no contienen un componente de fluido termal. El carácter Ca-HCO_3 de los fluidos también implica que los fluidos se originan de una fuente caliza, muy probablemente una fuente de baja temperatura, porque la solubilidad de $CaCO_3$ aumenta al disminuir la

temperatura. También, el geotermómetro de Na-K-Ca β = 4/3 indica temperaturas de equilibrio de aproximadamente 40°C. Mientras los geotermómetros de cuarzo, Na-K y Na-Li indican temperaturas de reservorio entre 100°C y 189°C, las altas concentraciones de Ca y HCO_3 y bajas concentraciones de Cl, B y Br en los fluidos implican que las muestras PA-99 y -101 no se originan de una fuente de alta temperatura.

Una muestra, PA-89, requiere más análisis. Si bien este fluido tipo Na-Ca-HCO_3 de baja temperatura y sólidos disueltos totales de solamente 217 mg/ℓ, tal vez contenga un pequeño componente de fluido termal. La concentración de Cl de la muestra PA-89 (24,5 mg/ℓ) es considerablemente superior a la de las aguas meteóricas muestreadas en el área (≤3 mg/ℓ). Además, las gráficas de B y F contra Cl de la Figura 3 sugieren que la muestra 89 es una mezcla del fluido Na-SO_4-Cl de las muestras 79, 85 y 87 con agua meteórica local y fría. Sin embargo, si PA-89, que está localizado a 13 km al suroeste de 79, 85 y 87, es un fluido mezclado, entonces la muestra contiene solamente una muy pequeña cantidad de fluido termal y se ubica a gran distancia de la principal área termal de temperatura relativamente baja. La gráfica de Li contra Cl de la Figura 3 no implica la mezcla entre aguas termales y no termales, pero sí sugiere cuatro diferentes fluidos en el área Chitré-Calobre: fluidos con la composición de 79, 85 y 87; fluidos con la composición de 99 y 101; aguas meteóricas (círculos); y un fluido aparte identificado por la muestra PA-89.

C. Análisis

Se identifican cuatro tipos de fluidos en el área Chitré-Calobre. Desde un punto de vista geotérmico, las muestras PA-89, -99, -101 y las aguas meteóricas no son de interés alguno. Las muestras PA-79, -85 y -87 son las únicas aguas geotérmicas identificadas en el área y sus temperaturas de geotermómetro indican que el reservorio es de ≤130°C. Es necesario recolectar y analizar más muestras en el área cercana a estas tres muestras antes de preparar evaluaciones cuantitativas relacionadas

con el potencial geotérmico. Basándose en los datos disponibles, es la opinión de la autora que el área Chitré-Calobre no es adecuada para la explotación geotérmica de alta temperatura.

IV. AREA PUEBLO NUEVO

El área de Pueblo Nuevo se localiza en la hoja topográfica de Gatú y hasta el momento no se dispone de información geológica. Se obtuvieron únicamente dos muestras de agua para el estudio geoquímico del área de Pueblo Nuevo. La muestra PA-105 es definitivamente una muestra de agua meteórica local y su total de sólidos disueltos es de únicamente 88 mg/ℓ. La segunda muestra, PA-103, de 39°C, es un agua tipo CA-HCO_3-SO_4 con 3.700 mg/ℓ de total de sólidos disueltos y parece ser un manantial mineralizado. Las anomalías de elementos traza tales como Li, B y Br son bastante bajas, mientras que las concentraciones de Ca + Mg son muy altas (>680 mg/ℓ). El geotermómetro Na-K-Ca da una temperatura de solamente 52°C. Se calcularon temperaturas con el geotermómetro de cuarzo de hasta 155°C (Tabla A-V), mas el contenido de sílice del fluido está probablemente controlado por una fase soluble, tal como cristobalita o sílice amorfo. Dudo mucho que este fluido provenga de un reservorio de alta temperatura y considero que no es necesario efectuar exploraciones adicionales en esta área.

V. AREA EL VALLE DE ANTON

A. Geología

El Valle de Antón es un estratovolcán Cuaternario que suprayace al basamento volcánico Terciario. En la cima de este estratovolcán se formó una caldera durante violentas erupciones piroclásticas tipo pliniano y tiene dimensiones de aproximadamente 5 a 6 km de ancho y alrededor de 400 m de profundidad. Sucedió un evento de desplome de caldera doble, dejando la más antigua caldera norte de La Mesa separada de la caldera sur de El Valle de Antón, de un millón de años, por medio de tres domos

de lava. Estos tres domos, Cerro Pajita, Cerro Gaital y Cerro Caracol, han sido emplazados a lo largo de la zona de fractura del anillo norte de la caldera de El Valle de Antón y sus edades son posteriores a la de la caldera. Después del derrumbe de la caldera, fue emplazado un domo de dacita en la caldera, hace aproximadamente 1 Ma. Continuó la actividad volcánica en El Valle de Antón desde 1,3 hasta 0,13 Ma. Los volcanismos más antiguos de El Valle de Antón son andesitas precaldera (aproximadamente 1,3 Ma de antigüedad), las cuales fueron seguidas por depósitos piroclásticos, cascadas de pómez y flujos de lava de composición desde dacítica hasta riolítica. Una de las rocas volcánicas más recientes consiste de un depósito piroclástico formado durante una erupción hace 0,13 Ma; sin embargo, una importante erupción explosiva postcaldera -- un piroclástico tipo pliniano -- sucedió hace 0,04 a 0,05 Ma. El siguiente flujo piroclástico ocurrió hace 34,600 años (Barberi 1987).

Las rocas basamentales y las rocas volcánicas suprayacentes exhiben tres tendencias de falla; noroeste/sureste, noreste/noroeste y este/oeste. Estos tres sistemas de fractura probablemente proporcionan la permeabilidad de fractura necesaria para permitir el flujo del fluido. En las jóvenes rocas volcánicas, fracturadas y permeables, yacen varios acuíferos de agua fría. Es posible que múltiples conductos profundos, tal como fallas y conductos alimentadores, proporcionen vías a través de las cuales los fluidos pueden descender a relativamente grandes profundidades (Marinelli 1986); sin embargo, utilizando un balance de masas sólido/líquido, se cree que exista una cámara de magma de 27 km^3 a poca profundidad. Las estimaciones geotermométricas y geobarométricas indican que la cámara de magma se encuentra de 3 a 5 km de profundidad, con una temperatura estimada de 800°C para riolita y 900°C para andesita (Barberi 1986).

B. Geoquímica

Se muestrearon y analizaron nueve aguas en el área de El Valle de Antón y se han identificado cuatro tipos de fluidos. Las muestras PA-107, -113, -115 y -121 caracterizan a las aguas meteóricas del área. Las muestras PA-107 y -113 son fluidos Na-Ca-HCO_3-SO_4 con TSD de <300 mg/ℓ, mientras que PA-115 y -121 son fluidos Na-Ca-HCO_3 con TSD entre 80 y 160 mg/ℓ (Tabla A-II).

Los dos tipos de agua termal identificada son las muestras 109 (31°C) y 111 (29°C) y muestras 117 (38°C) y 119 (37°C). Claramente, las muestras 109 y 111 tienen un origen diferente al de los fluidos de PA-117 y -119. En gráficas de B, F y Li contra Cl (Figura 4), no existe una tendencia lineal entre los dos tipos de fluido termal y el agua meteórica. No se pueden identificar tendencias de mezclado, parcialmente porque se obtuvo un número insuficiente de muestras de cada sitio.

Las muestras 109 y 111 se localizan en la hoja topográfica Tula, alrededor de 20 km al noroeste de la caldera de El Valle de Antón, mientras que 117 y 119 se localizan en la hoja de El Valle de Antón, dentro del sector suroeste de la caldera. El primer par de muestras son aguas tipo Na-Cl-HCO_3-SO_4 con aproximadamente 9000 mg/ℓ de TSD, concentraciones considerables de Ca + Mg y anomalías de Li, B y Br. A pesar de que las temperaturas del geotermómetro de sílice no son impresionantes, concuerdan con las de los geotermómetros Na-K y Na-K-Ca (β = 1/3). Antes de aplicar la corrección de Mg, se estimaron temperaturas entre 153° a 161°C. Es muy posible que 109 y 111 sean aguas mezcladas, cuyo componente termal se origina de un reservorio de más de 160°C. Si este fluido se origina de un reservorio abajo de El Valle de Antón, entonces las aguas han recorrido aproximadamente 19 km por abajo de la superficie, antes de emanar como manantiales. Por otra parte, la alta concentración de Ca, Mg, Na, HCO_3, SO_4 y Cl en estas aguas sugiere que 109 y 111 tal vez también sean aguas minerales que se originan de un reservorio de ≤65°C.

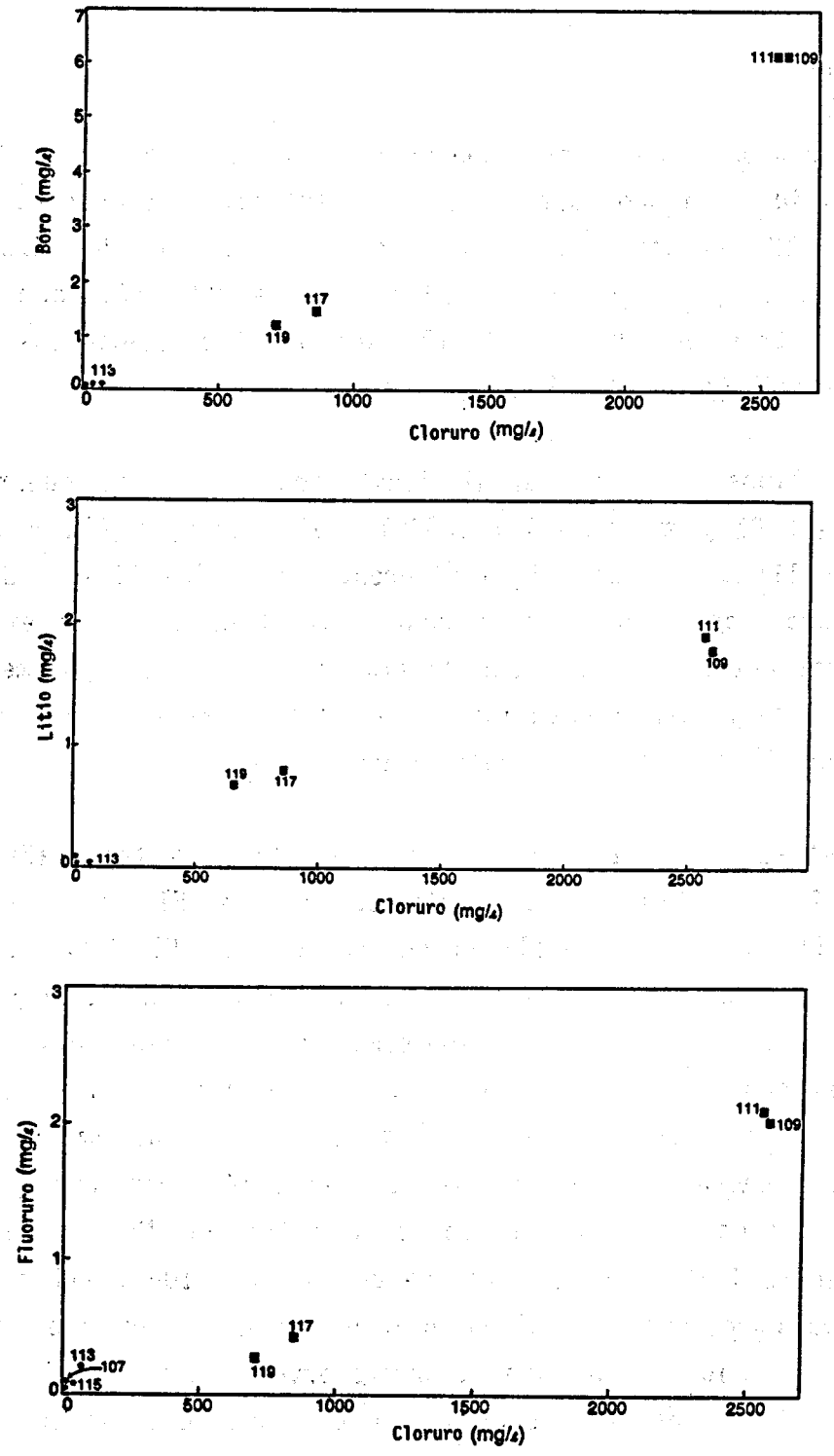


Figura 4. Gráficas de Li, F y B contra Cl de aguas termales y no termales del área de El Valle de Antón. Las aguas meteóricas se representan con círculos mientras que los fluidos termales se representan con cuadrados. Los números se refieren a los números de muestras indicados en las tablas del Anexo.

El segundo par de aguas termales, 117 y 119, son tipo Na-Cl-HCO_3, relativamente ricas en Ca + Mg (~160 mg/ℓ) y algo anómalas en concentraciones de Li, B y Br (Tabla A-II). Mientras que las muestras 109 y 111 tienen bajas concentraciones de sílice, las muestras 117 y 119 tienen mucho mayor concentración de sílice. Por lo tanto, la temperatura del geotermómetro de cuarzo (154°C) concuerda estrechamente con las temperaturas de los geotermómetros de Na-K (168°C) y Na-K-Ca (154°C). Las muestras 117 y 119 aparentan ser aguas termales mezcladas con un componente geotérmico que puede variar entre 160° a 170°C y con un componente frío que consiste de agua tipo Ca-Mg-HCO_3, el cual posiblemente se origina de una fuente caliza o volcánica máfica. Sin embargo, basándose en el conocimiento actual de la geología de El Valle de Antón, parece poco probable que las aguas frías se originen de calizas ya que no se sabe de la existencia de calizas poco profundas en el área.

C. Análisis

La relativa juventud del volcanismo en el área de El Valle de Antón y la esperada permeabilidad por fractura en el basamento Terciario indica que el área puede poseer potencial geotérmico. La química de un tipo de fluido termal también indica que los fluidos pueden equilibrar a temperaturas de hasta 170°C; sin embargo, otro factor sugiere que el área tal vez sólo tenga un limitado potencial geotérmico. El tamaño estimado de una cámara de magma de 27 km^3 con edad de un millón de años es realmente pequeño y el magma ya debe estar completamente frío. Basándose en las curvas de enfriamiento desarrolladas por Smith y Shaw (1975), tomaría un máximo de 100.000 años para enfriar a 300°C una cámara de magma en forma de cubo, con un volumen de 27 km^3. Por lo tanto, la fuente de calor que alimenta al sistema hidrotérmico actual tiene que ser como resultado del rejuvenecimiento de la cámara de magma y la extrusión asociada de los piroclásticos recientes en los últimos 30.000 a 40.000 años.

Para una información detallada sobre la estructura del área de El Valle de Antón, el lector interesado debe de ver los informes de asesoría de Geosystems (1987a y 1987b). Estos informes incluyen varios mapas e interpretaciones de los datos obtenidos.

Para poder determinar con exactitud el potencial geotérmico, se debe efectuar un detallado estudio geológico para identificar en forma más exacta las unidades litológicas y estructurales del área. Además, también se deben obtener e interpretar considerablemente más los datos hidrogeoquímicos para un mejor entendimiento del comportamiento del sistema, su temperatura de reservorio y sus relaciones de mezclado.

VI. AREA OLA

En la actualidad no se dispone de información geológica para el área de Olá. Se obtuvieron dos muestras de agua y se identificaron dos tipos de fluido en el área Olá. Ambas muestras, PA-123 y -125, están localizadas en la hoja topográfica de Olá y tienen bajas temperaturas de descarga. La muestra 123 (25°C), un agua Na-Cl, contiene una considerable concentración de Ca + Mg. La muestra 123 contiene relativamente bajas concentraciones de Li (0,41), B (1,59) y Br (1,6) (Tabla A-II), pero estos valores son altos si se les compara con los de otras aguas muestreadas en Panamá. La temperatura del geotermómetro de Na-K-Ca (β = 4/3) es de 83°C y la temperatura del geotermómetro de calcedonia es de 73°C. Probablemente este fluido es agua mineral, en vez de un fluido geotérmico de alta temperatura mezclado con agua fría rica en Ca. Aun si el fluido de hecho tiene un origen geotérmico, las temperaturas de geotermómetro muestran que el área no tiene potencial para la explotación del recurso geotérmico.

El segundo tipo de agua (PA-125) tiene una temperatura de 27,2°C y un total de sólidos disueltos de 144 mg/ℓ (Tabla A-II). Los fluidos son de naturaleza Ca-Mg-HCO_3 y no tienen Li, B o Br. Además, la concentración de SiO_2 es muy baja (36 mg/ℓ). La química de fluidos

de esta agua enseña que la muestra PA-125 definitivamente no es un fluido termal. Por lo tanto, basándose en los datos disponibles, concluyo que el área de Olá no posee potencial geotérmico.

VII. CONCLUSIONES

Debido a que se presentaron muestras de diversas áreas, la química de las 31 muestras es altamente variable. En general, las aguas termales no son ricas en SiO_2 y los cálculos de la mayoría de los geotermómetros no arrojan temperaturas mayores de entre 150°C a 160°C (Tabla A-V). Se presentan los valores del geotermómetro de sodio-litio, mas este termómetro aparenta dar valores erráticos de región a región. En general, el geotermómetro Na-K no es confiable a menos de que otros geotermómetros indiquen temperaturas ≥150°C (Ellis y Mahon, 1964; Fournier, 1981). Ninguna de las aguas muestreadas en Panamá tiene concentraciones anómalas de As, Cs y Rb, los cuales son indicadores de temperatura. Algunas aguas contienen B, Br, Li y NH_4 anómalos, los cuales son también posibles indicadores de temperatura. Todas las aguas termales contienen cantidades considerables de Ca, Mg, Sr y HCO_3, los cuales, debido a su solubilidad inversa respecto a la temperatura, generalmente indican una baja temperatura de equilibración o considerable mezclado entre fluidos termales y no termales originarios de carbonatos. La interpretación preliminar es que ninguna de las aguas investigadas se origina de un sistema geotérmico de muy alta temperatura (o sea, >200°C).

De las 16 muestras de fluido en el área Chitré-Calobre, sólo tres son fluidos geotérmicos y estos indican temperaturas de equilibración de <130°C. La Tabla I presenta los resultados comparativos obtenidos de estudios del área Chitré-Calobre por Barberi (1986), OLADE (1986) y este informe de Los Alamos. A pesar de que hay variaciones entre los diversos grupos de investigadores respecto a la interpretación de los detalles específicos, todos concuerdan de que el área Calobre contiene un recurso de temperatura relativamente baja y que se requieren estudios adicionales para adquirir un mejor entendimiento del área.

TABLA I

COMPARACION DE RESULTADOS PARA EL AREA CHITRE-CALOBRE ENTRE EL INFORME DE SINTESIS BARBERI DE 1986, DATOS DE OLADE DE 1986 Y DE LOS ALAMOS

	Informe de Síntesis Barberi	OLADE (1986)	Los Alamos
Geología	Volcanismo reciente; intrusivos fracturados proveen canales de flujo ascendente; nueva fuente de calor = actividad volcánica Cuaternaria e historia ígnea larga		
Tipos de agua	(1) tierra alcalina SO_4 (HCO_3) (2) Na-Ca SO_4 (3) Cl alcalino	(1) tierra alcalina SO_4 - HCO_3 (2) Na-Ca-SO_4 (3) Cl alcalino	(1) Ca-HCO_3 #99,101 (2) Na-SO_4-Cl + alta Ca #79, 85, 87 (3) --[a]
Anomalías	Falta de B	NH_3	B
Mezcladura	No	No	No
Temperatura de geotermómetro	--[a] --[a] (3) 81-85°C	(1) (130°C)? (2) (10-50°C)? (3) 85°C	(1) No termal (2) <130°C, el reservorio probablemente tiene temperatura cerca a la de la descarga (3) --[a]
Comentarios	Se notó anomalías de pérdida de vapor; se deben realizar más estudios	(1) & (2) Fluidos no equilibran con rocas del reservorio; se debe acelerar exploraciones	(1) Fuente de caliza (1) & (2) no de reservorio de alta temperatura; estudios más detallados requeridos, mas se cree que el sitio le falta potencial

[a]Las rayas indican falta de datos.

De los ocho fluidos muestreados en el área de El Valle de Antón, cuatro aguas han sido identificadas como fluidos geotérmicos de dos orígenes distintos. Los fluidos pueden equilibrarse dentro de un reservorio de hasta 170°C; sin embargo, la geología del área discutida sugiere que tal vez sólo pueda existir un pequeño sistema geotérmico en El Valle de Antón, porque tal vez no exista la presencia de una fuente de calor lo suficientemente grande. Sin embargo, tanto Barberi (1986) como Olade (1986) opinan de que el área posee una fuente de calor suficiente para sostener el sistema geotérmico y el IRHE en la actualidad se está preparando para hacer perforaciones exploratorias en la región. La Tabla II compara los resultados generales de Barberi (1986), OLADE (1986) y Los Alamos. Como se ve, los tres grupos concuerdan en su mayoría, con excepción de las estimaciones de las temperaturas de reservorio. Todos los estudios concluyen que para El Valle de Antón se requieren estudios geológicos e hidrogeoquímicos más detallados, para poder determinar con mayor exactitud el potencial geotérmico de esta área.

VIII. RECOMENDACIONES

Basándose en el estudio de los fluidos de Panamá, considero que no se debe destinar esfuerzo o dinero adicional a las áreas de Chitré-Calobre, Pueblo Nuevo u Olá; el área con el potencial más prometedor es El Valle de Antón. En esta área debe de encontrarse respuesta a varias preguntas y resolverse varios problemas. Por lo tanto, Los Alamos propone una investigación hidrogeoquímica de tres etapas.

Etapa 1: Reconocimiento. Recomendamos una visita al área, con duración de una semana, por parte de dos personas de Los Alamos, para trabajar con expertos locales sobre asuntos relacionados con logística, acceso y contactos. Este viaje nos permitiría ver la geología, los tipos de manantiales y pozos y el escenario hidrológico local para así poder planear un muestreo detallado.

TABLA II

COMPARACION DE RESULTADOS PARA EL AREA EL VALLE DE ANTON ENTRE EL INFORME DE SINTESIS BARBERI DE 1986, DATOS DE OLADE DE 1986 Y DE LOS ALAMOS

	Informe de Síntesis Barberi	OLADE	LOS ALAMOS
Geología	Volcanismo silícico reciente; permeabilidad por fractura a profundidad (basamento Terciario)		
Tipos de agua	--[a] -- --	(1) Cl-SO_4 alcalino (Chiriquí) (2) Cl alcalino (El Valle) (3) Cl tierra alcalina	(1) #109 y 111, Na-Cl-HCO_3-SO_4; Ca + Mg altos (2) #117 y 119 Na-Cl-HCO_3; Ca + Mg altos (3) --
Anomalías	Falta de B	Falta de B	Anomalía pequeña de B; Li, Br
Mezcladura	Sí	Sí	Sí
Temperatura de geotermómetro	(1) 110-115°C (2) 65°C (3) --	(1) 50-55°C (2) Na-K-Ca = 160°C (3) 110-115°C	(1) 160°C (2) 160-170°C (3) --
Comentarios	(1) Temperatura de geotermómetro controlado por SiO_2 amorfo	(1) Fluidos de El Valle al borde de reservorio termal; más estudios recomendados; se sospecha que $T_{profundo} = T_{salida}$ si hay anhídrido WRT saturado, sílice amorfo y fluorita. (2) Temperatura de equilibración 50-55°C para anhídridos WRT saturados, fluorita y calcedonia.	(1) Pueden ser fluidos minerales de reservorio ≤65°C. (2) Reservorio puede existir en calcita o fluidos pueden estar mezclados con aguas frías de alta Ca, Mg y HCO_3; se necesitan más estudios geológicos e hidrogeoquímicos detallados.

[a]Las rayas indican falta de datos.

Etapa 2: Muestreo Detallado. En esta etapa, efectuaríamos un detallado muestreo del área y sus regiones circunvecinas. Muestrearíamos fluidos tibios y calientes, así como manantiales y arroyos fríos en el área. Cualquier gas que se detecte también sería muestreado. Equipos de Los Alamos y del Servicio Geológico de los EE.UU. (USGS) efectuarían los análisis, incluyendo química de elementos principales y menores (Los Alamos), isótopos estables de agua (Los Alamos y USGS), tritio (Los Alamos), SO_4-^{18}O (USGS), química de gases (USGS) y ^{13}C del agua, roca y gas (Los Alamos y USGS). Se requiere de cerca de dos semanas de trabajo de campo para muestrear la caldera y su región circunvecina.

Etapa 3: Análisis e Interpretación. Todas las muestras serían analizadas, lo cual requeriría aproximadamente dos meses. Todos los datos serían interpretados y combinados con los datos geológicos, geoquímicos y geofísicos existentes para ser integrados en un informe comprensivo que enfatice (1) la temperatura del recurso; (2) las características de formación del recurso; y (3) la recarga, edad y volumen del recurso. Un informe preliminar tomaría de seis a ocho meses después del muestreado e involucraría alrededor de seis investigadores de Los Alamos y USGS.

RECONOCIMIENTOS

La autora reconoce agradecidamente los esfuerzos del IRHE, en particular los del Ing. Vicente Ríos y el Ing. Arturo Ramírez, por proporcionar las muestras de agua de Panamá a Los Alamos. La autora hace extensivo su agradecimiento a Jim Borthwick del Laboratorio de Isótopo Estable en el Instituto para el Estudio de la Tierra y del Hombre por efectuar los análisis de isótopo estable; a P. E. Trujillo, Jr. y D. A. Counce por efectuar los análisis químicos; a R. J. Hanold y F. E. Goff de Los Alamos por revisar el manuscrito; y a Bárbara Hahn por escribir en máquina y preparar este manuscrito. Este informe es el segundo de la serie de informes hidrogeoquímicos preparados por Los Alamos y el grupo Hidrogeoquímico del USGS.

REFERENCIAS

Barberi, F., 1986, Synthesis Report: Program IRHE-BID-OLADE, National Geothermal Reconnaissance, Advanced Prefeasibility of Barú-Colorado Complex, report provided to the Panama Geothermal Advisory Panel, Panama City, Panamá, 28 pp.

Barberi, F., 1987, Synthesis Report on the National Geothermal Reconnaissance, Advanced Prefeasibility of Barú-Colorado Complex, and Prefeasibility of Valle de Antón and Chitré-Calobre (informe no publicado), 20 pp.

Craig, H., Isotopic Variations in Meteoric Waters, Science 133, 1702-1703 (1961).

Ellis, A. J., y Mahon, W. A., 1964, "Natural Hydrothermal Systems and Experimental Hot-Water/Rock Interactions," Geochim. Cosmochim. Acta 28, 1323-1357.

Fournier, R. O., 1981, "Application of Water Geochemistry to Geothermal Exploration and Reservoir Engineering," in L. Rybach and L. J. P. Muffler, Eds., Geothermal Systems: Principles and Case Histories, (J. Wiley & Sons, New York), 109-143.

Geosystems, 1987a, Investigaciones Geofísicas en el Estudio de Prefactibilidad del Area de El Valle de Antón, II. Geoeléctrica, un informe sin publicar preparado por un consultor para el Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación, Panamá, 100 pp.

Geosystems, 1987b, Investigaciones Geofísicas en el Estudio de Prefactibilidad del Area de El Valle de Antón, III. Gravimetría, un informe sin publicar preparado por un consultor para el Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación, Panamá, 15 pp.

Goff, F. E., Truesdell, A. H., Grigsby, C. O., Janik, C. J., Shevenell, L. A., Paredes, J. R., Gutiérrez, J. W., Trujillo, Jr., P.E., y Counce, D. A., June 1987, Hydrogeochemical Investigation of Six Geothermal Sites in Honduras, Central America, Los Alamos National Laboratory report LA-10785-MS, 168 pp.

Marinelli, G., Duprat, A., Fournier, R., Hanold, R., y Ungemach, P., April 1986, Joint IRHE-IDB-OLADE Project, National Geothermal Reconnaissance and Barú-Colorado Complex Prefeasibility Study Report of the Third Meeting of the Advisory Panel, 26 pp.

Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), 1986, Datos no publicados, Panamá.

Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), 1985, Estudio de Reconocimiento de Los Recursos Geotérmicos de la República de Panamá, 59 pp.

Smith, R. L., and Shaw, H. R., 1975, "Igneous Related Geothermal Systems," U.S. Geol. Surv. Circular 726, 58-83.

ANEXO

DATOS HIDROGEOQUIMICOS

TABLA A-I

LOCALIZACION, DATOS DE CAMPO Y COMENTARIOS PARA AGUAS TERMALES Y NO TERMALES DE PANAMA

Núm. de Campo	Area	Localización Coordinados de Cuadrícula UTM	Núm. de Hoja	Nombre de Hoja Topográfrica	Temp (°C)	pH Campo	Lab Eh (mV)	Conduc. Campo (µS/cm)	Tasa de Flujo (ℓ/s)	Comentarios
Región Chitré-Calobre										
PA-67	San Francisco	037082	4040 IV	San Francisco	26,1	7,8	443	129,9	--	Muestreo de arroyo, provincia de Veraguas
PA-69	San Francisco	035118	4040 IV	San Francisco	24,9	7,99	417	94,5	100	" " " " " "
PA-71	San Francisco	108111	4040 IV	San Francisco	25,1	7,95	439	125	>200	" " " " " "
PA-73	Calobre	135108	4040 IV	San Francisco	24,9	7,85	411	103,6	--	emana de basalto
PA-75	Calobre	161148	4040 IV	San Francisco	24,9	8,63	453	80,3	--	Muestra de río, provincia de Veraguas, fluye por basalto
PA-77	Calobre	188179	4040 IV	San Francisco	25,5	7,26	446	33,6	10	Muestra de quebrada, provincia de Veraguas
PA-79	Los Pozos, Calobre	215283	4041 III	La Yeguada	53,1	7,75	419	2.760	--	Muestra de pozo cerca del Río Las Guías, provincia de Veraguas
PA-81	Los Pozos, Calobre	215295	4041 III	La Yeguada	22,7	8,30	416	289	50	Muestra de río sacada cerca de manifestación térmica, provincia de Veraguas
PA-83	Los Pozos, Calobre	219280	4041 III	La Yeguada	22,5	8,24	445	310	--	Muestra de río sacada cerca de manifestación térmica, provincia de Veraguas
PA-85	Los Pozos, Calobre	216288	4041 III	La Yeguada	44,1	7,58	398	2.580	1	Muestra de manantial caliente, provincia de
PA-87	Los Pozos, Calobre	216288	4041 III	La Yeguada	51,3	7,49	438	2.750	--	" " " " " Veraguas
PA-89	Viento Abajo	101242	4041 III	La Yeguada	26,7	5,97	452	215	1	Manantial frío emana de una falla al base de Cerro Esquinado; depósitos $Fe(OH)_3$ x H_2O, provincia de Veraguas
PA-95	Viento Abajo	104233	4041 III	La Yeguada	26,1	6,44	416	218	<<0,1	Manantial frío, provincia de Veraguas
PA-97	Barrera Grande	105336	4041 III	La Yeguada	22,2	7,30	453	56,6	--	Muestra de río, fluye por conglomerado basáltico; provincia de Veraguas
PA-99	La Yeguada	149303	4041 III	La Yeguada	29,9	6,02	423	917	4	Muestra de manantial de agua tibia, provincia
PA-101	La Yeguada	149301	4041 III	La Yeguada	27,5	6,45	419	934	0,2	" " " " " " de Veraguas
Pueblo Nuevo										
PA-103	Pueblo Nuevo	118410	4041 IV	Latún	39,4	6,31	390	3.230	--	Muestra de manantial de agua tibia, provincia
PA-105	Pueblo Nuevo	127410	4041 IV	Latún	20,9	7,05	410	89,3	--	Muestra de quebrada, provincia de Veraguas de Veraguas
El Valle de Antón										
PA-107	Tambo	748623	4142 III	Tula	24,4	7,50	434	101,3	50	Manantial de agua fría, provincia de Coclé
PA-109	El Valle	803619	4142 III	Tula	30,6	6,15	338	10.920	--	Manantial de agua tibia, provincia de Coclé
PA-111	El Valle	804618	4142 III	Tula	29,3	6,18	332	10.890	--	" " " " " " "
PA-113	Chiriquí Abajo	803623	4142 III	Tula	24,8	6,89	406	391	--	Muestra de quebrada, provincia de Coclé
PA-115	Bejuco	805604	4142 III	Tula	25,2	7,29	468	58,6	--	Muestra de río, provincia de Coclé
PA-117	El Valle, Los Pozos	948502	4141 I	El Valle	37,9	6,00	400	2.950	--	Manantial de agua tibia, provincia de Coclé
PA-119	El Valle, Los Pozos	948502	4141 I	El Valle	37,2	6,27	400	2.620	Rezumadero	" " " " " " "
PA-121	El Valle, Los Pozos	946503	4141 I	El Valle	23,1	7,54	426	123,5	--	Muestreo de río, provincia de Coclé
Area de Olá										
PA-123	Huacas del Quiche	281373	4041 II	Olá	25,4	5,18	389	1.734	3	Manantial de agua tibia, emana CO_2, provincia
PA-125	San Roquito	342337	4041 II	Olá	27,2	8,41	414	118,5	--	Muestra de Río San Antonio, provinica de Coclé de Coclé
Aguas Misceláneas										
PA-65	San Juan	--	3940 I	--	24,9	8,25	424	58,7	--	Muestra de río, provincia de Veraguas
PA-91	Sin nombre	--	--	--	24,5	7,18	451	99,9	--	" " " " " "
PA-93	Sin nombre	--	--	--	25,8	6,32	366	7.780	0,01	Manantial de agua fría cerca del Río Salitre, provincia de Veraguas

TABLA A-II

ANALISIS DE ELEMENTOS PRINCIPALES (en mg/ℓ) PARA AGUAS TERMALES Y NO TERMALES DE PANAMA

Núm. de Campo	Area	Temp. (°C)	pH Lab.	SiO_2	Ca	Mg	Sr	Na	K	Li	CO_3	HCO_3	SO_4	Cl	F	Br	B	TDS	Σcat	Σ an	bal
Región Chitré-Calobre																					
PA-67	San Francisco	26,1	7,73	38[a]	18,0	4,3	0,14	4,0	0,7	<0,02	0	91,5	<0,5	0,9	0,06	<0,1	<0,02	155	1,468	1,551	-0,055
PA-69	San Francisco	24,9	7,77	26[a]	11,0	3,8	0,08	3,6	0,6	<0,02	0	63,4	2,4	0,7	0,08	<0,1	<0,02	111	1,068	1,114	-0,042
PA-71	San Francisco	25,1	7,88	36[a]	16,2	4,9	0,12	4,1	0,6	<0,02	0	91,5	<0,5	0,8	0,06	<0,1	0,03	153	1,445	1,527	-0,055
PA-73	Calobre	24,9	7,81	38[a]	13,4	3,8	0,12	4,1	0,5	<0,02	0	74,4	<0,5	0,5	0,06	<0,1	0,06	133	1,238	1,240	-0,002
PA-75	Calobre	24,7	7,63	29	9,2	2,0	0,08	6,2	1,7	<0,02	0	54,9	0,5	1,9	0,07	<0,1	0,06	106	0,950	0,970	-0,022
PA-77	Calobre	25,5	7,09	42[a]	2,4	0,48	0,06	3,4	2,4	<0,02	0	24,4	<0,5	0,7	0,06	<0,1	0,03	35	0,402	0,423	-0,052
PA-79	Las Pozos, Calobre	53,1	7,59	85	260	2,5	0,94	472	2,7	0,04	0	48,8	1.220	225	0,29	0,6	3,07	2.322	33,785	32,808	0,029
PA-81	Los Pozos, Calobre	22,7	7,91	38[a]	41,8	6,7	0,18	10,4	0,6	<0,02	0	119,6	53,3	0,4	0,14	<0,1	0,08	268	3,114	3,102	0,004
PA-83	Los Pozos, Calobre	22,5	7,9	35	43,2	6,6	0.18	14,8	0,9	<0,02	0	117,1	61,2	3,0	0,14	<0,1	0,08	283	3,376	3,306	0,021
PA-85	Los Pozos, Calobre	44,1	7,73	85	244	2,6	0,94	455	2,9	0,06	0	81,0[b]	1.150	231	0,27	0,8	3,06	2.174	32,41	31,94	0,015
PA-87	Los Pozos, Calobre	51,3	7,76	84	241	2,5	0,92	438	2,6	0,06	0	56,1	1.100	223	0,27	0,4	3,01	2.153	31,364	30,356	0,033
PA-89	Viento Abajo	26,7	7,73	78[a]	9,3	2,9	0,22	38	4,9	0,21	0	103,9	10,6	24,8	0,10	<0,1	0,40	217	2,920	2,644	0,099
PA-95	Viento Abajo	26,1	7,66	59	22,2	4,1	0,20	6,3	5,1	<0,02	0	85,4	22,5	0,9	0,10	<0,1	<0,02	212	2,190	1,903	0,140
PA-97	Barrera Grande	22,2	7,32	25[a]	5,0	0,76	0,10	4,9	3,0	0,04	0	31,7	<0,5	2,9	0,06	<0,1	<0,02	70	0,646	0,604	0,066
PA-99	La Yeguada	29,9	8,22	90	135	21,8	1,60	83	5,8	0,12	0	707	10,6	3,3	0,37	<0,1	0,10	1.061	12,349	11,944	0,033
PA-101	La Yeguada	27,5	8,34	89	140	20,0	1,42	78	5,5	0,14	8,4	668	11,0	2,9	0,28	<0,1	0,10	1.032	12,360	11,615	0,062
PUEBLO NUEVO																					
PA-103	Pueblo Nuevo	39,4	7,86	135[a]	603	77,9	7,86	317	14,9	0,44	0	1.365[b]	1.070	232	0,21	0,6	1,16	3.698	51,52	51,43	0,002
PA-105	Pueblo Nuevo	20,9	7,29	21	10,2	1,5	0,18	5,9	1,5	0,02	0	29,3	11,8	3,1	0,08	<0,1	<0,02	88	0,952	0,868	0,092
El Valle de Antón																					
PA-107	Tambo	24,4	7,5	38[a]	8,8	3,2	0,16	8,3	2,0	0,04	0	46,4	3,3	7,8	0,08	<0,1	<0,02	111	1,134	1,053	0,075
PA-109	El Valle	30,6	8,36	35[a]	264	71,0	11,4	2.630	111	1,79	13,2	1.911[b]	1.750	2.594	2,03	4,3	6,14	9.372	138,16	142,99	-0,034
PA-111	El Valle	29,3	8,35	30[a]	262	68,5	11,5	2.670	111	1,91	12,0	1.911[b]	1.770	2.591	2,09	4,2	6,14	9.423	139,61	143,29	-0,026
PA-113	Chiriquí Abajo	24,8	7,43	23[a]	9,8	2,7	0,32	77	4,5	0,06	0	7,2[b]	47,0	71,8	0,20	<0,1	0,13	295	4,253	4,328	-0,018
PA-115	Bejuco	25,2	7,19	32[a]	5,4	2,0	0,12	6,2	1,3	<0,01	0	31,0	<0,5	6,0	0,06	<0,1	<0,02	82	0,747	0,725	0,031
PA-117	El Valle, Los Pozos	37,9	8,16	34	102	62,5	3,54	529	28	0,80	0	529	23,7	863	0,42	2,0	1,49	2.287	34,29	33,42	0,026
PA-119	El Valle, Los Pozos	37,2	8,07	130[a]	94	58,9	3,06	400	19	0,56	0	674[b]	22,4	709	0,26	1,5	1,20	1.757	27,87	27,82	0,002
PA-121	El Valle, Los Pozos	23,1	7,62	63	8,4	2,7	0,2	14,9	2,1	0,02	0	58,6	<0,5	12,3	0,09	<0,1	<0,02	163	1,367	1,320	0,035
Area de Olá																					
PA-123	Huacas del Quiché	25,4	7,77	51[a]	86,8	18,8	1,92	245	12,1	0,41	0	109[b]	53,4	483	0,12	1,6	1,59	984	17,04	16,09	0,058
PA-125	San Roquito	27,2	7,86	36	13,8	3,5	0,2	6,9	1,3	<0,02	0	73,2	<0,5	2,9	0,09	<0,1	<0,02	144	1,318	1,383	-0,048
Aguas Misceláneas																					
PA-65	San Juan	24,9	7,19	19[a]	5,2	1,4	0,08	4,6	1,2	<0,02	0	29,3	4,4	3,3	0,07	<0,1	0,03	67	0,633	0,670	-0,057
PA-91	Sin nombre	24,5	7,80	26	13,5	2,7	0,14	5,1	1,6	<0,02	0	61,0	4,2	0,8	0,10	<0,1	<0,02	116	1,198	1,116	0,071
PA-93	Sin nombre	25,8	8,18	40[a]	331	70,1	8,50	1.490	143	4,8	0	1.196	135	2.293	0,53	7,7	8,9	5.730	91,516	86,766	0,053

[a]Valores de SiO_2 medidos en el campo.
[b]Valores de HCO_3^- + $CO_3^=$ medidos en el campo.

TABLA A-III

ANALISIS DE ELEMENTOS TRAZA (en mg/ℓ) PARA AGUAS TERMALES Y NO TERMALES DE PANAMA

Núm. de Campo	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	NH_4	Ni	NO_3	Pb	PO_4	Rb	Sb	Se	Zn
Región Chitré-Calobre																					
PA-67	<0,1	<0,1	0,04	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,04	<0,1	<0,02	<0,1	0,33	<0,001	1,4	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	<0,02
PA-69	<0,1	<0,1	0,02	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,12	<0,1	<0,02	<0,1	0,46	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	<0,02
PA-71	<0,1	<0,1	0,03	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	<0,001	0,06	<0,1	<0,02	<0,1	0,60	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	<0,02
PA-73	0,2	<0,1	0,04	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,06	<0,1	<0,02	<0,1	0,66	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	0,002	<0,1	<0,1	<0,02
PA-75	<0,1	<0,1	0,04	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,06	<0,1	<0,02	<0,1	0,13	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	0,002	<0,1	<0,1	<0,02
PA-77	<0,1	<0,1	0,14	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,02	<0,1	<0,02	<0,1	0,52	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	<0,02
PA-79	<0,2	<0,1	0,03	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,02	<0,1	<0,02	<0,1	0,59	<0,001	<1	<0,001	<0,5	<0,001	<0,1	<0,1	<0,02
PA-81	<0,1	<0,1	<0,02	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,02	<0,1	<0,02	<0,1	0,10	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	<0,02
PA-83	<0,1	<0,1	0,02	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,02	<0,1	<0,02	<0,1	0,10	<0,001	0,4	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	<0,02
PA-85	<0,1	<0,1	0,03	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,02	<0,1	0,15	<0,1	0,90	<0,001	0,8	<0,001	<0,5	<0,001	<0,1	<0,1	<0,02
PA-87	0,2	<0,1	0,03	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,02	<0,1	0,15	<0,1	0,40	<0,001	<1	<0,001	<0,5	<0,001	<0,1	<0,1	<0,02
PA-89	<0,1	<0,1	0,24	<0,001	0,005	0,015	<0,001	<0,001	7,15	0,1	0,38	<0,1	0,03	0,002	<0,1	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	0,05
PA-95	<0,1	<0,1	0,04	<0,001	0,005	0,014	<0,001	<0,001	5,76	<0,1	0,66	<0,1	0,03	0,001	<0,1	<0,001	<0,1	0,001	<0,1	<0,1	0,03
PA-97	<0,1	<0,1	0,07	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,08	<0,1	<0,02	<0,1	0,53	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	0,03
PA-99	0,1	<0,1	0,39	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,02	<0,1	<0,02	<0,1	0,03	<0,001	1,4	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	<0,02
PA-101	<0,1	<0,1	0,40	<0,001	0,003	0,002	0,003	<0,001	1,84	<0,1	1,32	<0,1	0,03	<0,001	3,9	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	<0,02
Pueblo Nuevo																					
PA-103	<0,1	<0,1	0,06	<0,001	0,004	0,011	0,004	<0,001	6,06	<0,1	1,22	<0,1	0,38	0,011	<1	<0,001	<0,5	<0,001	0,1	<0,1	0,04
PA-105	<0,1	<0,1	0,07	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,22	<0,1	0,04	<0,1	0,05	<0,001	3,0	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	0,01
El Valle de Anton																					
PA-107	<0,1	<0,1	0,08	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	0,12	<0,1	0,02	<0,1	0,03	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	0,01
PA-109	0,1	<0,1	0,05	<0,001	0,001	0,001	0,003	<0,001	0,06	<0,1	0,14	<0,1	1,33	<0,001	<1	<0,001	<1	0,020	<0,1	<0,1	0,01
PA-111	<0,1	<0,1	0,05	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,10	<0,1	0,11	<0,1	1,03	<0,001	<1	<0,001	<1	0,020	<0,1	<0,1	<0,01
PA-113	<0,1	<0,1	0,08	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,08	<0,1	0,02	<0,1	0,96	<0,001	0,7	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	<0,01
PA-115	<0,1	<0,1	0,04	<0,001	<0,001	<0,001	0,006	<0,001	0,06	<0,1	<0,02	<0,1	0,07	<0,001	2,8	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	<0,01
PA-117	<0,1	<0,1	0,24	<0,001	0,002	0,002	0,003	<0,001	2,92	<0,1	1,32	<0,1	0,03	0,001	2,7	<0,001	<0,5	<0,001	<0,1	<0,1	<0,01
PA-119	<0,1	<0,1	0,20	<0,001	0,002	0,002	0,004	<0,001	3,06	<0,1	1,43	<0,1	0,03	<0,001	<0,1	<0,001	<0,5	<0,001	<0,1	<0,1	0,01
PA-121	<0,1	<0,1	0,04	<0,001	<0,001	0,001	0,006	<0,001	0,24	<0,1	0,04	<0,1	0,03	<0,001	0,6	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	<0,01
Area de Olá																					
PA-123	<0,1	<0,1	0,35	<0,001	0,004	0,001	0,004	<0,001	0,46	<0,1	0,84	<0,1	0,13	<0,001	<0,1	<0,001	<0,5	<0,001	<0,1	<0,1	0,02
PA-125	<0,1	<0,1	0,04	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,02	<0,1	<0,02	<0,1	0,03	<0,001	6,0	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	<0,01
Aguas Misceláneas																					
PA-65	<0,1	<0,1	0,03	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,06	<0,1	<0,02	<0,1	0,4	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	<0,02
PA-91	<0,1	<0,1	0,07	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,10	<0,1	0,04	<0,1	0,52	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,001	<0,1	<0,1	<0,02
PA-93	<0,1	<0,1	0,17	<0,001	0,005	0,009	<0,001	<0,001	6,70	<0,1	0,83	<0,1	0,04	0,001	4,9	<0,001	<1	0,001	<0,1	<0,1	<0,02

TABLA A-IV

DATOS DE ISOTOPOS PARA AGUAS TERMALES Y NO TERMALES DE PANAMA

Núm. de Campo	Area	Elev. (m)	Temp (°C)	D(°/₀₀)[a]	$\delta^{18}O$(°/₀₀)[a]
Región Chitré-Calobre					
PA-67	San Francisco	60	26,1	-50,3	-7,14
PA-69	San Francisco	80	24,9	-52,7	-7,50
PA-71	San Francisco	60	25,1	-52,0	-7,25
PA-73	Calobre	60	24,9	-51,1	-7,30
PA-75	Calobre	80	24,9	-56,4	-8,15
PA-77	Calobre	110	25,5	-52,0	-7,34
PA-79	Los Pozos, Calobre	300	53,1	-57,6	-8,19
PA-81	Los Pozos, Calobre	320	22,7	-58,6	-8,50
PA-83	Los Pozos, Calobre	260	22,5	-58,2	-8,42
PA-85	Los Pozos, Calobre	280	44,1	-56,6	-7,85
PA-87	Los Pozos, Calobre	280	51,3	-57,4	-8,22
PA-89	Viento Abajo	280	26,7	-57,1	-7,94
PA-95	Viento Abajo	240	26,1	-54,9	-7,85
PA-97	Barrera Grande	340	22,2	-57,1	-8,33
PA-99	La Yeguada	500	29,9	-61,8	-8,97
PA-101	La Yeguada	500	27,5	-60,9	-8,96
Pueblo Nuevo					
PA-103	Pueblo Nuevo	600	39,4	-51,8	-7,90
PA-105	Pueblo Nuevo	660	20,9	-56,1	-8,40
El Valle de Antón					
PA-107	Tambo	160	24,4	-39,9	-6,24
PA-109	El Valle	200	30,6	-35,6	-6,03
PA-111	El Valle	200	29,3	-36,1	-6,07
PA-113	Chiriquí Abajo	180	24,8	-38,9	-6,10
PA-115	Bejuco	180	25,2	-38,3	-5,87
PA-117	El Valle, Los Pozos	580	37,9	-45,8	-6,62
PA-119	El Valle, Los Pozos	580	37,2	-41,2	-6,64
PA-121	El Valle, Los Pozos	580	23,1	-46,6	-7,11
Area de Olá					
PA-123	Huacas del Quiché	360	25,4	-53,1	-7,49
PA-125	San Roquito	220	27,2	-52,8	-7,46
Aguas Misceláneas					
PA-65	San Juan	200	24,9	-48,7	-6,96
PA-91	Sin nombre	--	24,5	-53,2	-7,56
PA-93	Sin nombre	--	25,8	-54,1	-7,54

[a] δD y $\delta^{18}O$ reportado en °/₀₀ relativo a SMOW (Standard Mean Ocean Water).

TABLA A-V

TEMPERATURAS DE GEOTERMOMETRO CALCULADAS (°C)
PARA AGUAS TERMALES EN PANAMA

Núm. de Campo	Area	Temp. Medida (°C)	Cuarzo[a]	Cuarzo[b]	Calce-donia	Na-K	Na-K-Ca β =4/3	Na-K-Ca β =1/3	Na-K-Ca Mg Corr.	Na-Li
Región Chitré-Calobre										
PA-79	Los Pozos, Calobre	53,1	128	125	101	54	26	62	26	--
PA-85	Los Pozos, Calobre	44,1	128	125	101	58	29	65	29	--
PA-87	Los Pozos, Calobre	51,3	128	125	100	55	26	63	26	--
PA-99	La Yeguada	29,9	131	128	104	188	42	136	42	97
PA-101	La Yeguada	27,5	131	127	103	189	39	135	39	111
Yeguada Pueblo Nuevo										
PA-103	Pueblo Nuevo	39,4	155	147	130	160	52	127	52	95
El Valle de Antón										
PA-109	El Valle	30,6	86	89	55	153	179	161	63	57
PA-111	El Valle	29,3	79	83	48	152	179	160	64	60
PA-117	El Valle, Los Pozos	37,9	154	147	130	168	119	154	21	100
PA-119	El Valle, Los Pozos	37,2	152	145	128	161	102	145	20	95
Area de Olá										
PA-123	Huacas del Quiché	25,4	103	103	73	163	83	140	58	106
Aguas Misceláneas										
PA-93	Sin nombre	25,8	92	94	61	213	174	193	83	152

[a]Enfriado por conducción.
[b]Enfriado adiabáticamente.