

PDWAB 862

EVALUATION OF A FEASIBILITY STUDY TO DEVELOP
AND UTILIZE GEOTHERMAL ENERGY IN EL VALLE
DE LOS CHILLOS, ECUADOR

Prepared for
U.S. Agency for International Development
Quito, Ecuador

by

George S. Budney
Energy Technology Engineering Center

and

Marshall J. Reed
U.S. Department of Interior

July 2, 1983

EVALUATION OF A FEASIBILITY STUDY TO DEVELOP
AND UTILIZE GEOTHERMAL ENERGY IN EL VALLE
DE LOS CHILLOS, ECUADOR

Table of Contents

- I. Background
- II. Introduction
- III. Summary
- IV. Discussion
 - A. Geologic Setting
 - 1. Geochemistry
 - 2. Hydrology
 - 3. Geophysics
 - B. Utilization
 - 1. Temperature, flow, and thermal load requirements
 - 2. Proximity of prospective well sites to industrial consumers
 - 3. Use of local resources
- V. Proposed Geophysical Exploration Plan
 - A. INE Proposed Plan
 - B. Recommended Changes to the Plan
- VI. Recommendations
- VII. Acknowledgements
- VIII. Appendix
 - A. References
 - B. Background reports

I. Background

At the request of the U.S. Agency for International Development (AID) representatives of the U.S. Department of Interior (DOI) and Energy Technology Engineering Center (ETEC) were requested to review and evaluate a proposal and supporting information, prepared by the Ecuadorean Instituto Nacional de Energía (INE) and its advisors, for the development and utilization of a low-temperature geothermal heat source. The objective of the project is to demonstrate the technical and economic feasibility of substituting geothermal energy for presently used petroleum products which would improve Ecuador's balance of payments and help the national economy. AID is evaluating whether there is sufficient justification for the project, for which AID would provide approximately US \$100,000 in financial support, to assure a reasonable chance of success. Recommendations for alternative approaches that would improve the probability of success were also requested.

II. Introduction

The Ecuadorean Instituto Nacional de Energía (INE) has been evaluating three prospective sites for low to medium temperature geothermal development. The three sites are Valle de los Chillos, Cuenca de Cuenca, and Península. Of the three sites, the Valle de los Chillos has been selected for possible initial development. INE has performed studies of the geology, hydrology and geochemistry in the Valle de los Chillos region, which is located approximately 15 km east-southeast of Quito, near the extinct volcano Cerro Ilaló. This region was selected because of its proximity to several communities and to two major highways leading to Quito. In addition, there are a large number of small industries in the area that could substitute low-temperature geothermal energy for a portion or all of their thermal energy needs now supplied by petroleum products (Kerex, Diesel, Bunker). Finally, some of the wells being used by industry, principally for water, are producing water at temperatures of 25°C to 35°C. The favorable water temperatures, geology, hydrology, geochemistry and proximity to the volcano Ilaló improve the possibility of finding a low-temperature geothermal resource in the area. INE is proposing to perform additional studies to select a well drilling site with a high probability of success of locating low-temperature water of sufficient flow, and close to prospective users, to justify development of the resource.

III. Summary

The proposed plan to determine the feasibility of geothermal development in the Valle de los Chillos was evaluated. The INE plan is based on extensive studies of the geology, geochemistry, and hydrology of the area. In addition, a comprehensive survey of existing warm water wells and industries capable of using low-temperature geothermal energy was prepared and documented by INE and its advisor. The conclusion from review of the available information is that, subject to verifying the existence of low-temperature geothermal heat source, the Valles de los Chillos area is a suitable site for development.

The plan to establish the existence of a geothermal resource was evaluated taking into consideration cost and use of local resources. It is considered that a plan that includes the drilling and testing of a test well supported by a modest resistivity survey will provide the most reliable data on the existence of a low-temperature geothermal resource. Well site selection may be based on the resistivity survey and existing information. From information available, it appears that a test well of approximately 4 inch diameter, drilled to a depth of 300 to 400 meters, and tested to determine its flow capacity, drawdown, recovery time and effects on other wells in the area will provide the best information on the feasibility of geothermal development. The selection of a site for drilling should be in the San Pedro del Tingo region where the hottest water wells are located. Also, this area has a concentration of industries which could utilize the geothermal energy.

It is recommended that the revised feasibility plan be implemented. The cost of implementing this plan is estimated at US \$100,000.

IV. Discussion

A. Geologic Setting

Several areas in Ecuador were investigated for the development of low-temperature geothermal resources. The Peninsula north of the Gulf of Guayaquil is a deep Miocene sedimentary basin. Unusually high temperature saline water has been encountered in oil exploration drilling in the area. The Cuenca de Cuenca, in the central Andes east of Guayaquil, is a deep basin containing Miocene and younger continental sediments. Unusually high temperature saline water has also been encountered in oil exploration drilling in this area.

Both of these areas were considered less interesting than Valle de los Chillos because they lack the number of potential users thought necessary.

Several recent studies¹ have been performed to investigate the potential of geothermal energy at Valle de los Chillos. In August 1982, a survey of the available literature was begun. Geologic studies were conducted to identify the petrology and structure of volcanic rocks on Cerro Ilaló and to identify the stratigraphy and structure of the surrounding rocks. The Valle de los Chillos and Cerro Ilaló lie within the Quaternary graben of Quayllabamba. North-trending faults form the sides of the graben, and pyroclastic and fluvial sedimentary rocks fill the graben. Cerro Ilaló is a deeply eroded composite andesitic cone which is partially buried by the graben-fill material and covered on the east side by ash of the Cangahua Formation. Potassium-argon dating of a young flow near the summit of Cerro Ilaló indicates an age of 1.6 million years. Stream channels have cut into the easily eroded graben-fill material, and they present an opportunity to establish the stratigraphy. Stratigraphic studies show that the sequence of pyroclastic and fluvial sedimentary rocks is irregular in its thickness and areal distribution. Several unconformities exist on a regional basis, and additional local unconformities have also been identified. The mean annual temperature in the valley is 16°C, so water up to 26°C would be considered normal-temperature and above 26°C would be considered geothermal. Thermal water appears to occur only along known or suspected faults. From consideration of the chemistry of thermal springs and wells in the area, it is possible that temperatures of 70 to 90°C exist at depths between 300 and 500 m.

1. Geochemistry

Geochemical sampling and analysis have been conducted in the area of Cerro Ilaló and Valle de los Chillos. Chemical analysis of the normal-temperature and thermal waters show that they are of the sodium, magnesium, bicarbonate type. The unusually high magnesium content is probably due to weathering of olivine, hypersthene, and augite in the andesite of Cerro Ilaló. Because the equivalent concentration of magnesium is greater than the sum of calcium plus potassium, the cation geothermometer calculations can not be used. High concentrations of silica are also present in the water. The silica could also be controlled by the weathering of magnesium minerals. Geothermometer calculations using the silica species indicate control by the solubility of B-cristobalite. Water from San Petro del Tingo has a

surface temperature of 41°C and an estimated temperature from silica of 53°C. High ammonium and boron concentrations have been encountered in springs and wells in the area of San Petro del Tingo, on the southwest flank of Cerro Ilaló, and these components may reflect an underlying geothermal water.

2. Hydrology

Most of the wells in the Valle de los Chillos are completed at depths of 80 to 120 m in the Chiche Formation. The fluvial sediments of the producing zone have low permeability, and pumped flow rates are between 4 and 8 L/sec and average 6 L/sec. Differential compaction appears to be a problem. Spring flow at San Petro del Tingo ceased after a minor earthquake in 1949, and wells were drilled to replace the spring flow. The flow rate of one well decreased from 8 L/sec in 1955 to 4 L/sec in 1983. Hydrologic maps of the peziometric surface have been prepared as part of this geothermal project.

3. Geophysics

A thesis study of the area north of Cerro Ilaló (Torres, 1975) contains resistivity values for the major lithologic units that are found in the Valle de los Chillos. The ranges of resistivity in ohm-meters are: surface zone 30 to 190, Cangagua Formation 20 to 100, gravels and alluvium of the Chiche Formation 50 to 200, sand and gravel of the pre-Chiche about 50.

B. Utilization

1. Temperature, Flow and Thermal Load Requirements.

In order to estimate the potential for substituting low-temperature geothermal energy for petroleum products a preliminary study (Reference 1)² was performed of industrial thermal energy use in the Valle de los Chillos area. Data was collected on thermal energy use for 32 industries, including textiles, pharmaceuticals, chemicals, a brewery, tobacco processing, soft drink processing, etc.

See Appendix, Background Reports
See Appendix, References

In each of these industries the investigator made a field survey and summarized the thermal energy consumption (Reference 1). The summary was quite comprehensive and included such data as oil consumption, boiler efficiency, condensate returned and temperature, heat load, steam pressure and temperature, and steam production. Normally, information of this detail on energy use is not available in the early stages of a project and must be crudely estimated.

Notwithstanding the availability of the above information, in order to estimate the fraction of geothermal energy that can be substituted for thermal energy using petroleum products, it was necessary to make some assumptions regarding the geothermal resource. Two assumptions made were the temperature of the geothermal fluid of 95°C at the flow rate of 15 L/sec.

The selection of 95°C as the geothermal fluid temperature was based on an extrapolation of shallow well temperature (40 to 50°C at approximately 150 m depth) to a depth of approximately 300 meters. While a high well temperature is desirable, a well temperature below 95°C may be successful, provided the temperature and flow available are adequate to supply sufficient energy to the industries served. A better estimate of the lowest practical well temperature is desired.

Another assumption made is the desired flow rate, 15 L/sec. This estimate is based on a projection of a possible geothermal well flow rate from the flow rate at some of the current wells. Since none of the wells have been tested to determine their capacity or effects on nearby wells there will be some uncertainty on this value. The large number of water producing wells in the area and the apparent lack of interference between wells indicates that the ultimate capacity of the present production area has not been reached. Wells of 25 to 50 L/sec capacity are not uncommon. Furthermore, well capacity is of less importance where wells are relatively shallow or of low cost. This could actually be the case in the Valle de los Chillos. A verbal estimate was received by INE from Perfopozos, a local well driller with an Ingersoll Rand model TH-60 drilling rig. This rig has a capacity to drill holes for up to 24 inch diameter casing size to 450 meters depth. A verbal estimate for drilling a 300 meter, 8 inch steel cased well was quoted at S/11,300 less 8% /meter, for a total cost of S/3,118,800, or US \$70,881 at the official exchange rate of 44 sucres/ US \$1. The 8% reduction is due to the close proximity of the drilling site. These costs

make drilling wells close to industries served feasible and will reduce geothermal fluid transport pipeline construction costs. Also it will permit the use of a larger percentage of local resources (industry, labor, and sueres) on the project.

2. Proximity of Prospective Well Sites to Industrial Users.

An extensive survey was made of industry locations and present well sites. These are shown in Reference 1 and on various geologic maps. Well sites and well temperatures as well as geologic data were evaluated for the most likely sites for discovering hot water that are reasonably close to industrial users. Two potential geothermal sites near industrial areas were identified. These two areas are shown on a modified map, figure 1, "Proximity of Hot Water Wells to Major Industry Energy Users."

The first concentration of hot wells and industrial users is in the Conocoto-San Pedro del Tingo area. Well nos. 4, 30, and 40 have water temperatures of 41^o, 36^o and 28^oC respectively. There is a large concentration of industrial users within several km of these wells. The second area of interest is between Cumbayá and Tumbaco. Two large industrial energy users are located there and Well no. 15, which has a water temperature of 26^oC, is within several Km. of the plants.

The relatively close proximity of prospective well sites to industry should make geothermal development of the area attractive once the feasibility of locating a useable geothermal resource is established.

V. Proposed Geophysical Exploration Plan

A. INE Proposed Plan

An exploration program has been proposed by INE for the location of low-temperature geothermal resources in the Valle de los Chillos. The proposal has three parts: 1. Topographic mapping to precisely locate lines for a number of resistivity soundings; 2. Detailed resistivity surveys of three areas around Cerro Ilaló; and 3. A design review prior to the resistivity surveys and the data reduction and interpretation after the survey. The objective of this exploration project is to define the most favorable locations to drill wells for the production of geothermal water. The three initial areas were selected on the basis of water temperature in existing wells

and on the location of potential users. The exploration method was selected on the basis of equipment and personnel available at the Direccion General de Geologia y Minas (DGGM), Quito. To obtain the greatest depth of penetration, 110 sites were to be used for Schlumberger soundings with electrode spacings up to 6 km.

The commonly used geophysical exploration methods (resistivity, seismic refraction, gravity, magnetics, magnetotellurics, and others) can only indicate the conditions below the surface of the earth within broad ranges and are often ambiguous. Resistivity, for example, is a function of water chemistry, temperature, porosity of the rock, and mineralogy of the rock. Low resistivity can indicate high temperature, saline water, high porosity, conductive minerals, or any combination of these factors. It will be difficult to identify any low-temperature geothermal zones in the subsurface because the temperatures expected will not create much of a resistivity contrast with the surrounding rock. It is not until a well is drilled that the existence of a geothermal resource can be confirmed.

The INE proposed resistivity survey has several other potential problems. Human development in the area, specifically electric power lines and oil pipelines, will interfere with the measurement of electrical current in the rock. Deep stream canyons will cause difficulties in laying wires long distances between the electrodes. The major north trending faults will strongly effect any resistivity measurements in their area and will cause difficulty in interpretation of anomalies nearby. Resistivity is not sensitive to precise location or elevation as are other methods such as gravity surveys. The existing topographic maps are adequate for any resistivity measurements in the area. The location of structural features such as faults can normally be determined from dipole-dipole resistivity surveys with reasonably short spacings (less than 1 km). Information on the location of faults is easier to interpret than information on the existence of thermal water.

B. Recommended Changes to the Plan

After review of the available reports and a site inspection, we suggest changes in the proposed exploration program. The major criteria to be determined are the temperature and the water productivity of any geothermal aquifers in the area of interest. In our opinion, the best way to determine these criteria is to drill a small-diameter (about 4 inch) test well to a depth of 300 to 400 m in the area southwest of Cerro Ilaló. This test well would provide the necessary temperature information from thermister logging of

the completed well; lithologic logging of the rock cuttings as they come to the surface will give the necessary stratigraphic information; and pump-testing will give information on the productivity, drawdown, and water chemistry of any aquifers encountered. A test well of this type will supply most of the information available from a large-diameter production well, but at a fraction of the cost.

Resistivity studies should be used to determine the location and orientation of faults in the area and as an aid to well site selection. Resistivity surveys should be limited in scope and include dipole-dipole surveys. The interpretation of fault locations from resistivity ~~and~~ dipole-dipole surveys is much less complex than interpretation ~~of~~ the existence of thermal water, and the assistance of outside contractors is not required. Consulting assistance in interpretation of results may be desirable.

The small-diameter test well we propose can be drilled and pump-tested for approximately US \$60,000 using local water-well drilling contractors. The lithologic and temperature logging of the well and a small number of resistivity profiles for fault location can be accomplished for approximately US \$15,000 using the equipment and personnel of ~~Escuela Politécnica Nacional~~ *DEGM*.

VI. Conclusions and Recommendations

The following conclusions and recommendations are made:

1. The Valle de los Chillos is a suitable site for exploration for a geothermal resource, since manifestations of geothermal water and the proximity to a number of faults are strong indications of a possible geothermal resource. In addition the area is close to a large number of potential industrial users.
2. The proposed geophysical exploration program should consist of the following principal elements:
 - a. Dipole-dipole resistivity surveys to aid in selecting a site for test well drilling. These surveys can be performed using equipment and personnel available as the local ~~Escuela Politécnica Nacional~~ with possible consulting support for computer analysis and interpretation of data.

- b. Based on the above surveys, select a site for drilling an approximate 4 inch diameter test well to a depth of 300-400 meters. The well would be tested to obtain flow/draw-down data, temperatures, static level recovery times, and effects on nearby wells. A local well driller appears capable of performing this work.
3. The above plan should result in obtaining the necessary data for verifying the existence and quality of the geothermal resource within proposed funding.

VII. Acknowledgements

We greatly appreciate the assistance of Patricio Romero, INE; Michel Lopoukhine, advisor to INE; Hugh Pierson, advisor to INE; and Leo Garza, AID project manager. Without their substantial effort, our assignment would not have been possible.

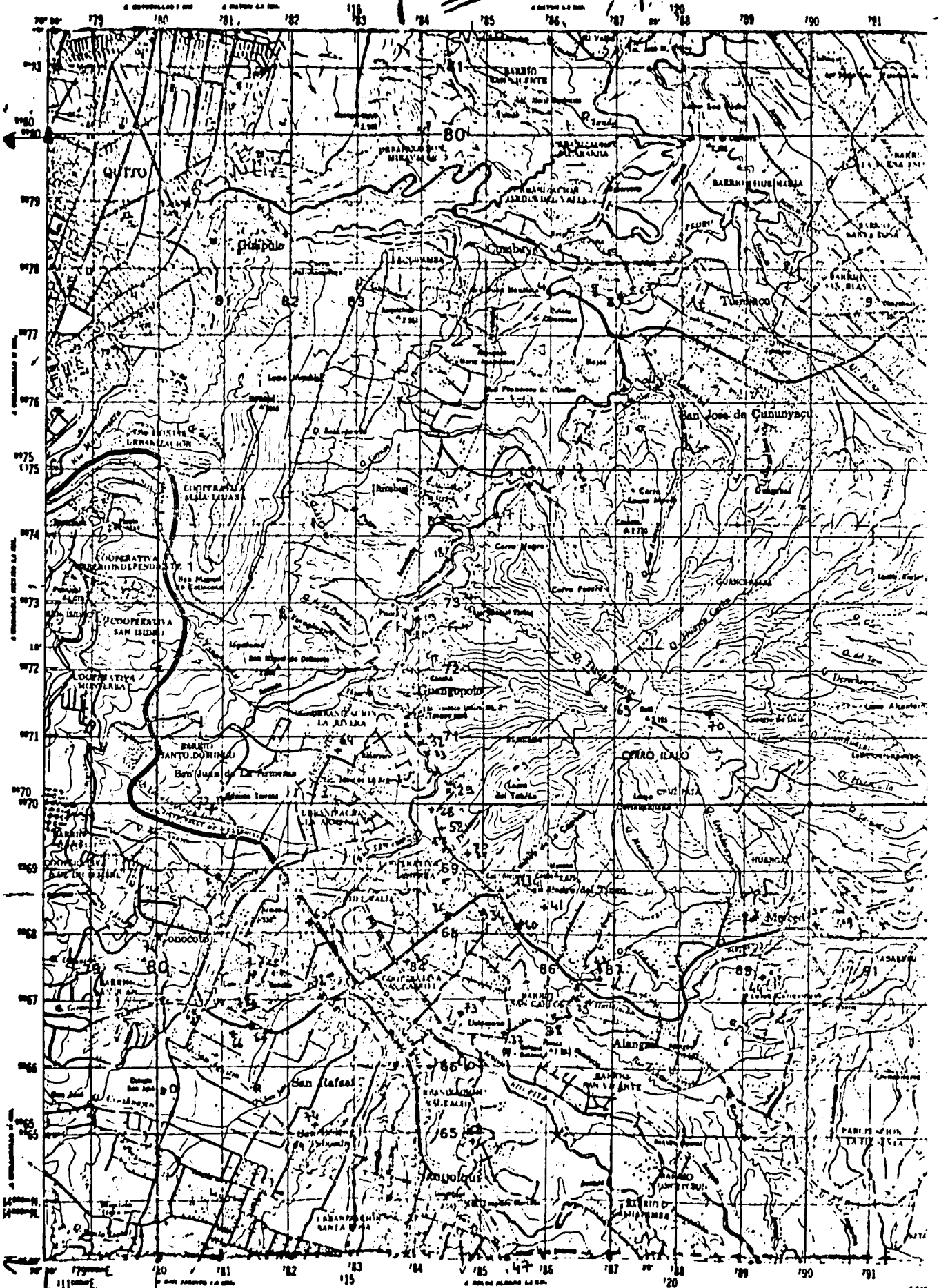
VIII. Appendix

A. References

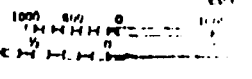
1. Proyecto Geotérmico Valle de los Chillos Perspectivas de Ahorro de Hidrocarburos en el Sector Industrial GTE/404/83, Michel Lopoukhine.
2. Investigación geotécnica de la zona de Tumbaco y Cumbaya, Provincia de Pichincha: (unpublished thesis) Escuela Politécnica Nacional, Quito, por Luis E. Torres B., 1975.

B. Background Reports

1. Estudio Geotérmico en el Valle de los Chillos INEEP, II Fase, Los Volcánicos Ilaló, por Ing. Renán Cornejo O., Quito, 25-IV, 1983.
2. Estudio Geotérmico en el Valle de los Chillos INEEP, II Fase, Geología Estructural del Cerro Ilaló por Egdo, Marco Estrella
Geol. Dipl. Armin Jansen
Ing. Hugo Yépez
Quito, 22-IV, 1983
3. Reconocimiento Geológico General del Valle de los Chillos Instituto Nacional de Energía Escuela Politécnica Nacional, Proyecto Geotérmico Valle de los Chillos, por R. Vera, H. Yépez y M. Estrella, con la colaboración de R. Cornejo y E. Gavilánez. EPN-Quito, Noviembre de 1982.



Prepared by the Instituto Geográfico Militar (I.G.M.) in collaboration with the American Geodetic Survey (A.G.S.). Fotografías Aéreas firmadas en Junio de 1975. Control Horizontal 1974. Mapa de 1976. Compañía por Método Fotogramétrico 1:75,000. Datum 1970.



Handwritten notes and signatures at the bottom of the map, including the name 'Valerio' and other illegible markings.

CUINACU...
 CUINACU...
 DATO...
 13

UNITED STATES GOVERNMENT

Memorandum

TO : Leopoldo Garza, GDO
USAID/Ecuador

DATE: 2 July 1983

FROM : Marshall Reed and George Budney

SUBJECT: - Review of Proposed Geothermal Project in Ecuador

At the request of USAID/Ecuador, George Budney and Marshall Reed were brought to Quito, Ecuador, to evaluate the potential for low-temperature geothermal energy development in the Valle de los Chillos area and to evaluate the proposed geothermal exploration program of the Ecuadorean National Energy Institute (INE). After review of the existing reports and data at INE and a site inspection of the Valle de los Chillos, the conclusion was reached that the potential for geothermal resources exists, and that if the resources are discovered, users are available to take advantage of the produced geothermal energy.

In collaboration with INE, the geothermal exploration program was modified. The modified exploration program consists of two principal elements: (a) a resistivity survey and (2) drilling of a stratigraphic and hydrologic test well. The resistivity survey portion has been modified to increase the structural information to be obtained. This is achieved by using existing equipment for dipole-dipole resistivity surveying rather than Schlumberger resistivity surveying. The resistivity survey includes establishing survey lines on the ground for the deployment of equipment, resistivity measurements and supervision, and interpretation of the results. The critical equipment, Scintrex model TSQ-3 transmitter and Model IPR-8 receiver, and the field personnel are available from the Dirección General de Geología y Minas (DGGM), Quito. The surveying equipment and personnel are available from local contractors in Quito at a cost much lower than that of a contractor from outside Ecuador. A contractor must be chosen for the counsel and interpretation of the resistivity results, because the local personnel do not have experience with investigations of geothermal resources.

The proposed exploration program was also modified to include the drilling of a small-diameter (about 4 inch) stratigraphic and hydrologic test well to 400 meter depth. A local well drilling firm has been identified with an Ingersoll-Rand model TH-60 drilling rig capable of drilling to 450 meter depth.



5010-110

Buy U.S. Savings Bonds Regularly on the Payroll Savings Plan

Proposals were requested from experienced geothermal consulting firms in Ecuador, the United States, El Salvador and Spain, to implement the geothermal exploration program in these principal areas. These areas are:

1. Perform a field survey in which the proposed location of resistivity lines will be marked.
2. Provide personnel to assist field personnel, and to process and provide counsel and interpretation of resistivity data.
3. Provide field instrumentation and field personnel and perform resistivity survey.

A technical evaluation committee consisting of the undersigned as AID representatives, and Patricio Romero and Michel Lopoukhine, as INE representatives, evaluated the proposals. The criteria used in the evaluations and results of the evaluation are documented in the evaluation report.

Marshall J. Reed
Marshall J. Reed
Geologist
U.S. Department of
Interior

George S. Budney
George S. Budney, P.E.
Project Manager, Geo-
thermal Programs
Energy Technology
Engineering Center

cc: Eric Peterson, ST/EY

GDO: MReed:mbr

Geothermal Exploration for Low Temperature Project

in the "Valle de los Chillos"

Technical Evaluation of Proposals for Services in Geophysics in Geothermal Exploration

Proposals for three specific activities were requested. These are:

1. Services of geophysics, geothermal exploration, and geology personnel to counsel, supervise, and perform the processing and interpretation of resistivity survey data.
2. Update maps and marking survey lines for a resistivity survey.
3. Provide field instrumentation and personnel to perform field resistivity survey work.

An ad-hoc evaluation panel was established to evaluate the proposals for the purpose of expediting approvals by AID and INE. AID representatives on the panel are George S. Budney and Marshall J. Reed; INE representatives are Patricio Romero and Michel Lopoukhine.

Prior to evaluating the proposals the AID panel members were briefed on the objectives of the geothermal exploration program and reviewed documents of work performed. The review included a briefing by members of the professional staff of the Escuela Politécnica Nacional on the state of knowledge of the geology of the Ilaló area. In addition, a field survey was made and the proposed activities in the field were discussed. The requirements of field exploration program and its relationship of the contractor scope of work was considered.

The proposals received in each of the three areas above, were evaluated and contractors ranked. The criteria used were technical qualifications, demonstrated ability to perform supervision, and ability to interpret iso-resistivity data.

The results of the evaluations are as follows:

I. Technical Evaluation of Proposal for Services of Geophysics, Geothermal Exploration and Geology Personnel

Proposals have been requested from several organizations to provide the services of personnel experienced in geophysics, geothermal exploration and geology to counsel and supervise the

processing and interpretation of data of an exploration program for a low temperature geothermal resource in the Valle de los Chillos near Quito, Ecuador. Six responses were received within the time limit specified.

The six proposals were evaluated solely on the basis of technical qualifications to perform the work. The following summarizes the results of the evaluations:

<u>Organization</u>	<u>Comments</u>	<u>Score*</u>
University of Utah Research Center	Have experience in similar geologic environment. Have developed 3-D computer program for interpreting resistivity data. Have trained personnel in resistivity surveys and computer analyses and interpretation.	10
International Engineering Co.	Have experience in similar geologic environment. Have performed resistivity surveys including interpretation.	9
GeothermEx, Inc.	Have experience in similar geologic environment. Have experience in performing and interpreting resistivity survey data.	8
Servicios Geológicos, S.A.	Have experience in performing resistivity surveys. Need assistance in processing and interpreting data.	6
Woodward-Clyde Consultants	Limited experience in 3-D resistivity surveys and in processing and interpretation of data.	4
Devosa - In- genieros Geofí-	Primary experience is in mining applications.	2

* Score: 1 - 10, 10 equals best

According to the previous evaluation, proposals from the following firms have been prequalified: University of Utah Research Center, International Engineering Co., and GeothermEx Inc. We have forwarded to them a modified technical scope of work so they can present new adequate proposals.

A review of the technical requirements of the project indicates that it is desirable to change the scope of the proposed resistivity survey and complete it with the drilling of a small diameter observation stratigraphic hole, located using data from the resistivity survey. The hole will be used to establish the stratigraphy, measure the temperature, confirm the resistivity anomalies and to measure the permeability.

The reduced resistivity survey program will consist of a reduction in Schumberger resistivity analysis points and inclusion of dipole-dipole tests. Less emphasis is being placed on Schumberger resistivity survey data since it is believed that interpretation of such data under conditions in Valle de los Chillos is inconclusive. In addition, it is recommended that the resistivity survey be performed by local personnel with support of one geologic/geophysics consultant with experience in geothermal exploration. The consultant would also train personnel in the processing and interpretation of field data.

The qualifications of the three highest ranked organizations were reviewed for possible change in score and relative rank. It was concluded that the revised scope of exploration work would not affect the relative ranking.

II. Technical Evaluation of Proposal for Updating Maps and Making Survey Lines for a Resistivity Survey

Four proposals were received for this scope of work. Of the four proposals one contractor was clearly superior relative to qualifications for the proposed. Coincidentally this firm was also lowest in price. The firm of Cartotecnia was selected.

III. Technical Evaluation of Proposals for Field Work for the Resistivity Study

Six Government organizations were invited to submit proposals to provide the field instrumentation and perform the field resistivity survey work. Only two of the organizations have the required instrumentation. Of these two, only Dirección General de

Geologia y Minas can provide the instrumentation during the required period. It also has the best equipment.

Evaluators for AID

Marshall J. Reed

Marshall J. Reed
Geologist
U.S. Department
of Interior

George S. Budney

George S. Budney, P.E.
Project Manager,
Geothermal Programs
Energy Technology
Engineering Center
Rockwell International

July 2, 1983

Evaluators for INE

Patricio Romero

Patricio Romero
Asesor-Coordinador
de Geotermia, of
Instituto Nacional
de Energía

Michel Lopoukhine

Michel Lopoukhine
Asesor Geotérmico
de la Comunidad
Económica Europea
en el Instituto
Nacional de Energía

Proyecto Geotérmico de Baja Entalpia "Valle de los Chillos"

I. Evaluación Técnica de las Ofertas de Servicios Geofísicos para Exploración Geotérmica

Han sido solicitadas propuestas de varias organizaciones para proveer servicios de personal calificado y con experiencia en geofísica, exploración geotérmica, y geología para supervisar y asesorar el proceso e interpretación de los datos obtenidos en un programa de exploración del Proyecto Geotérmico de Baja Entalpía "Valle de los Chillos" localizado cerca de Quito, Ecuador. Seis propuestas fueron recibidas dentro del tiempo límite especificado.

Las seis propuestas en mención fueron evaluadas únicamente en base a la calificación técnica de las mismas para realizar el trabajo mencionado. El siguiente cuadro resume el resultado de la evaluación:

Organización: University of Utah Research Center

Calificación: 10

Comentarios: Posee experiencia en ambientes geológicos similares. Ha desarrollado un programa de computación tridimensional para la interpretación de los datos de resistividad. Ha capacitado personal en estudio de resistividad y en el análisis e interpretación computarizado de los datos.

Organización: International Engineering Co.

Calificación: 9

Comentarios: Posee experiencia en ambientes geológicos similares. Ha realizado investigaciones de resistividad incluyendo la interpretación de datos.

Organización: GeothermEx, Inc.

Calificación: 8

Comentarios: Posee experiencia en ambientes geológicos similares. Tiene experiencia en la realización de investigaciones de resistividad y en la interpretación de los datos.

Organización: Servicios Geológicos, S.A.

Calificación: 6

Comentarios: Tiene experiencia en la realización de investigación de resistividad. Necesita asesoramiento en el proceso e interpretación de datos.

Organización: Woodward-Clyde Consultants

Calificación: 4

Comentarios: Experiencia limitada en investigación de resistividad y en el proceso e interpretación tridimensional de datos.

Organización: Devosa - Ingenieros Geofísicos Asociados

Calificación: 2

Comentarios: Principal experiencia en aplicaciones de minería.

Las calificaciones van de 1 a 10, 10 equivale al mejor

Según esta evaluación fueron precalificadas las ofertas de University of Utah Research Center, de International Engineering Co. y de GeothermEx Inc. a las cuales se ha enviado un alcance técnico modificado para que presenten una nueva oferta.

Una revisión de los requisitos técnicos del proyecto indica que es conveniente cambiar el alcance propuesto para la investigación de resistividad y completarla con la perforación de un pozo de observación estratigráfica de diámetro pequeño, ubicado en base a los datos obtenidos de los sondeos de resistividad. El pozo servirá para establecer la estratigrafía, medir la temperatura, confirmar las anomalías de resistividad y para medir las permeabilidades.

Este programa reducido de investigación de resistividad consistirá en la realización de un número reducido de sondeos de resistividad Schumberger y en la inclusión de sondeos dipolo-dipolo. Menor énfasis se dará a los sondeos de resistividad Schumberger puesto que se considera que la interpretación de los correspondientes datos bajo las condiciones existentes en el Valle de los Chillos no sería concluyente. Además, sería recomendable que los sondeos de resistividad sean llevados a cabo por personal local con la colaboración de un consultor geólogo/geofísico especializado en exploración geotérmica. El consultor también capacitaría personal en el procesamiento e interpretación de los datos de campo.

Las calificaciones de las organizaciones que obtuvieron las tres notas más altas fueron revisadas por si fuese susceptible

un cambio en las calificaciones o en el rango relativo. Se concluyó que el cambio en el plan de trabajo en la exploración no afectaría este rango relativo.

II. Evaluación Técnica de las Ofertas para la Actualización de Mapas y Materialización de las Alineaciones de la Investigación de Resistividad

Se recibieron cuatro propuestas para esta parte del trabajo. De las cuatro propuestas, uno de los contratistas es claramente superior en relación a las calificaciones técnicas requeridas. Coincidentemente, esta firma también presentó la propuesta de más bajo costo. La firma Cartotecnia fue seleccionada.

III. Evaluación Técnica de las Propuestas para el Trabajo de Campo en la Investigación de Resistividad

Seis organizaciones estatales fueron invitadas a presentar propuestas para proveer los equipos necesarios para el trabajo de campo, y para realizar los sondeos de resistividad. Sólo dos de estas organizaciones poseen el instrumental necesario. De estas dos, sólo la Dirección General de Geología y Minas está en capacidad de proveer los instrumentos durante el período requerido. Además posee el mejor equipo.

Evaluadores de AID

Marshall J. Reed

Marshall J. Reed
Geólogo del
Departamento del
Interior de E.U.

George S. Budney
George S. Budney, P.E.

Jefe, Programas de
Geotermia del Centro
de Ingeniería Tec-
nológica en Energía
Rockwell International

Evaluadores del INE

Patricio Romero
Patricio Romero
Asesor Coordinador
de Geotermia, del
Instituto Nacional
de Energía

Michel Lopoukhine
Michel Lopoukhine
Asesor Geotérmico
de la Comunidad
Económica Europea
en el Instituto
Nacional de Energía



REPUBLICA DEL ECUADOR
 MINISTERIO DE RECURSOS NATURALES Y ENERGETICOS
 Dirección General de Geología y Minas

OFICIO N° 131 S/DGGM

Quito a, 21 Dic. 1983

Señor Lcdo.
 Gonzalo García Oquendo
 DIRECTOR ADMINISTRATIVO FINANCIERO
 Instituto Nacional de Energía
 Presente

De mi consideración:

En respuesta a su atento Oficio No. 830586-INE de 9 de Junio de 1983, a continuación remito para su conocimiento una lista de los materiales y/o accesorios, su origen, así como posibles lugares de adquisición, los mismos que deben entregarse en compensación a los trabajos que la Dirección General de Geología y Minas deberá realizar en conjunto con el Instituto Nacional de Energía en el Proyecto Geotérmico de Baja Entalpía "Valle de los Chillos".

10.000 m. de cable para trabajos de P.I.	Scintrex Canadá o Estados Unidos
4 carretes standard SR4020	Scintrex Canadá o Estados Unidos
2 carretes conmutados SR4020C	Scintrex Canadá o Estados Unidos
2 reguladores de voltaje VR-50-Serie N° 78221 de equipo Mcphar P660	Mcphar - Canadá
6 electrodos porosos	Geoex, Scintrex - Estados Unidos
1 the Induced Polarization Method by John Sumner	Estados Unidos
1 Manual of Geophysical Hand-Calculator Programs (TI y HP)	Society of Exploration Geophysics Tulsa-Oklahoma
1 Mining Geophysics Evol I y II	Society Explora - tion Geophysics Tulsa - Oklahoma

.../..



REPUBLICA DEL ECUADOR
MINISTERIO DE RECURSOS NATURALES Y ENERGETICOS
Dirección General de Geología y Minas

...2/..

10 Pilas Eveready Nº 455 de 45 V	Estados Unidos
10 Pilas Eveready Nº 717	Estados Unidos
10 pilas Eveready Nº 763 de 22.5 V	Estados Unidos
1 Calculadora TI-59	Estados Unidos
1 Caja de herramientas	Ecuador - Quito
1 Carpa	Ecuador - Quito
1 vitrina - biblioteca	Ecuador - Quito
1 taladro	Ecuador - Quito
1 cautín lapicero de 13 watt	Ecuador - Quito

Los equipos que serán utilizados en el presente estudio son:

1 Equipo de P.I./resistividad SCINTREX
1 Magnetómetro Fluxgate (componente vertical)
1 Magnetómetro de Protones (campo total)

Atentamente,


Ing. Raúl Núñez
DIRECTOR GENERAL DE GEOLOGIA Y MINAS, ENCARG



REPUBLICA DEL ECUADOR

EVALUACION DE RECURSOS GEOTERMICOS

INFORME DE MISION

(23 abril - 6 mayo 1983)

por

G. M. Di Paola

Asesor Técnico para la Energía Geotérmica

Departamento de Cooperación Técnica para el Desarrollo
Unidad Especial de Fuentes de Energía Nuevas y Renovables

Naciones Unidas
Nueva York
Junio 1983

Introducción

En julio de 1982 el Gobierno de la República del Ecuador solicitó al Departamento de Cooperación Técnica para el Desarrollo (DCTD) a través del Representante Residente del Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD) en Quito, el envío de un geo-vulcanólogo experto en recursos geotérmicos. Los propósitos de esta misión fueron los siguientes:

1. Asistir al INE (Instituto Nacional de Energía) en la evaluación técnica de los resultados obtenidos en la fase de exploración geotérmica preliminar en Ecuador y en particular en las zonas de Cuenca, Valle de los Chillos y Península Sta. Elena, en donde el INE preve una posible utilización comercial diferente de la producción eléctrica.

2. Asesorar al Gobierno en el desarrollo futuro más adecuado de las actividades geotérmicas en Ecuador y su posible utilización económica, ya sea de baja o alta entalpía.

3. Evaluar los recursos humanos y financieros para desarrollar esta tarea.

La misión se llevó a cabo desde el 23 de abril hasta el 6 de mayo de 1983 (Anexo 1). Durante este período se efectuaron discusiones técnicas con varios expertos de instituciones nacionales e internacionales que cooperaron activamente en los problemas geotérmicos del Ecuador (Anexo 1). Al mismo tiempo, la documentación existente fue revisada y se organizaron visitas a terreno en diferentes áreas de interés geotérmico potencial.

Marco Institucional

Las instituciones responsables de las actividades geotérmicas en Ecuador son las siguientes:

INE (Instituto Nacional de Energía) es una entidad técnico-científica de derecho público, adscrita al Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos que fue creada en 1978 con el propósito, entre otros, de organizar, coordinar y promover la investigación y uso de fuentes alternas de energía, incluyendo la energía geotérmica. En lo que concierne a la geotermia, el INE hasta la fecha, ha estado interesado únicamente en la demostración

de la utilidad económica de proyectos de baja entalpía, es decir, para el uso no eléctrico de los recursos geotérmicos en Ecuador. En efecto, el INE no es considerado un ente ejecutor directo de los proyectos, por lo tanto, recibe la asesoría de Instituciones Universitarias Ecuatorianas bajo la coordinación de sus dos únicos técnicos geotérmicos: un geólogo (Ing. Patricio Romero) y un geoquímico (Ing. Michel Lopoukhine).

INECEL (Instituto Ecuatoriano de Electrificación) - es una empresa nacional encargada de la generación, transmisión, distribución y venta de energía eléctrica en Ecuador. Considerando el continuo aumento de la demanda de energía eléctrica en el país, y de acuerdo con lo estipulado en la Ley Básica de Electrificación, es responsabilidad de INECEL investigar todos los recursos naturales que puedan servir para generación eléctrica, entre ellos la energía geotérmica. Por esta razón, INECEL creó en el año 1978 el Proyecto Geotérmico con la finalidad de encontrar en el país las zonas geológicamente apropiadas para la explotación de recursos geotérmicos de alta y media entalpía con fines destinados a generar electricidad. Las investigaciones realizadas ininterrumpidamente han seguido la metodología de OLADE.

Los recursos humanos de que dispone INECEL para el Proyecto Geotérmico son:

- un coordinador del proyecto (Ing. Eduardo Aguilera)
- un vulcanólogo (Ing. Eduardo Almeida)
- un geofísico (Ing. Bernardo Beate)
- un geofísico - hidrogeólogo (Ing. Jorge Ayala)
- un hidrogeoquímico (Ing. Gastón Sandoval)

Actualmente se encuentran recibiendo los cursos de Capacitación Geotérmica organizados por OLADE los Ingenieros Alonso Moreno (Perforación de Pozos Geotérmicos) y Fabián Viteri (Geofísica).

INECEL dispone también de algunos equipos necesarios para la exploración geotérmica que consisten en:

- equipo completo para mediciones geoquímicas de campo
- un gravímetro
- dos resistivímetros (uno de alta y uno de baja penetración)
- dos sismógrafos
- dos microscopios polarizantes
- equipo de apoyo

OLADE (Organización Latinoamericana de Energía)

Considerando la gran importancia atribuida a la energía geotérmica como fuente alterna para facilitar el desarrollo económico de los países de América Latina y del Caribe, desde 1978 OLADE ha promovido desde el punto de vista técnico y financiero, actividades geotérmicas en todos los países miembros conocidos como potencialmente abundantes en este recurso, incluyendo el Ecuador. La presencia en Quito de los representantes de la Sede de OLADE, sin duda representa una condición privilegiada para el Ecuador y debiera utilizarse al máximo dicha ventaja por las instituciones ecuatorianas encargadas de las actividades geotérmicas en el país como ser el INE e INECEL. OLADE posee la capacidad técnica para seleccionar empresas especializadas y/o reclutar expertos internacionales de alto nivel profesional, por lo tanto, OLADE parece ser el organismo más adecuado existente en Ecuador para coordinar toda actividad geotérmica.

Durante la temporada de verano de 1983 OLADE llevará a cabo en Quito un curso de capacitación de carácter regional en geo-vulcanología aplicado a la investigación geotérmica que reunirá expertos geotérmicos de numerosos países de América Latina y del Caribe. Este curso es parte de un extenso programa de capacitación geotérmica organizado por OLADE bajo el apoyo financiero del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Este programa proporciona cada año en diferentes países de América Latina, un curso de especialización en disciplinas relacionadas con la exploración y la explotación de los recursos geotérmicos utilizando los servicios de los más destacados expertos geotérmicos internacionales.

En 1982 la Cámara Nacional de Representantes de la República del Ecuador expidió la Ley de Fomento de Energías no Convencionales seguida de un decreto presidencial de reglamento de aplicación de dicha ley. Con esta ley que preve la concesión de beneficios tributarios particulares, el Estado se propone a través de instituciones como el INE, INECEL y otras, estimular la investigación de fuentes de energía no convencionales, incluyendo la geotermia. Esta institucionalización a nivel nacional de la geotermia como fuente potencial de desarrollo económico del país es muy importante debido a que se facilitarán todas las actividades futuras en este campo.

Estado actual de las investigaciones geotérmicas en el Ecuador

La exploración geotérmica comenzó efectivamente en el Ecuador en el año 1979 con un estudio de reconocimiento que cubrió todas las áreas potencialmente interesantes del país. Este estudio fue ejecutado conjuntamente por Aquater (Italia), BRGM (Francia) y el INECEL (Ecuador) bajo la coordinación de OLADE a través de la cual la Comisión Económica para Europa (CEE) ha canalizado los fondos requeridos.

Los resultados de este estudio han indicado la existencia de un número prometedor de regiones ubicadas a lo largo de la Cordillera de Los Andes. Estas regiones han sido clasificadas en dos categorías de primera y segunda prioridad, respectivamente (Anexo 2):

Categoría A en la cual podrían existir todos los pre-requisitos geológicos para la existencia de recursos geotérmicos de alta entalpía (fuente de calor magmático, permeabilidad suficiente en profundidad, presencia de capas impermeables adecuadas, recarga de agua subterránea adecuada). En esta categoría fueron clasificadas las zonas (de norte a sur) de Tufiño, Imbabura-Cayambe, Chalupas.

Categoría B en la cual todos los pre-requisitos geológicos no son tan evidentes como en las zonas de la categoría A. Dentro de la categoría B se clasificaron las zonas (de norte a sur) del Valle de los Chillos (Ilaló), Chimborazo, Quenca.

Posteriormente se concentraron en el área de Tufiño las investigaciones más detalladas ejecutadas conjuntamente por Geotérmica Italiana (Italia) y por INECEL (Ecuador) bajo la coordinación de OLADE, que consistieron en estudios de vulcanología, geoquímica e hidrogeología. Los resultados de esta primera etapa de pre-factibilidad han confirmado la alta prioridad que se le ha asignado a esta área que, por lo tanto, merece que se realicen en ella investigaciones adicionales que deberían consistir principalmente en trabajo geofísico (resistividad eléctrica, gravimetría y magnetometría). El área de Tufiño, ubicada en la frontera con Colombia, corresponde al mismo ambiente geotérmico de Chiles-Cerro Negro, por esta razón, en 1982 se firmó un acuerdo entre ambos Gobiernos con el propósito de realizar conjuntamente toda la exploración solicitada, incluyendo perforación profunda y explotación de los recursos disponibles.

Posteriormente INECEL investigó la zona de Chalupas - Cotopaxi concluyéndose a fines del año 1982 los estudios correspondientes a la primera fase de prefactibilidad.

Paralelamente se realizó un estudio complementario al Reconocimiento en la extensa zona de Imbabura - Cayambe, encontrándose un área más restringida (Chachimbiro) a la cual INECEL atribuyó un alto interés geotérmico. Al mismo tiempo el INE, utilizando la asesoría de la Escuela Politécnica Nacional de Quito llevó a cabo algunas investigaciones complementarias en las zonas de Quenca y Valles de los Chillos (Ilaló) que fueron clasificadas dentro de la categoría B al término del estudio de Reconocimiento. El propósito de estos estudios complementarios es demostrar la rentabilidad económica de la utilización de las aguas termales de estas zonas a las numerosas empresas industriales locales que requieren gran cantidad de calor producido normalmente al quemar combustibles fósiles.

Planes de desarrollo de las investigaciones geotérmicas en el Ecuador y fuentes potenciales de financiamiento

La potencia eléctrica total instalada en el Ecuador (octubre 1981) es de 1038 MW, el 78% de la cual está generada por plantas térmicas. INECEL preparó un Plan Maestro (1980-95) para incrementar la producción de energía eléctrica en el país que preve la utilización de fuentes convencionales, para satisfacer el aumento continuo de la demanda. Sin embargo, para el año 1995 INECEL estima un déficit de más de 1500 GWh entre la demanda y la disponibilidad de energía eléctrica en el Ecuador, por lo tanto, todo esfuerzo financiero para la investigación y el uso futuro de recursos geotérmicos de alta entalpía parece justificable.

La utilización de los recursos geotérmicos para una producción de energía eléctrica en el Ecuador está planeada para el período 1995-2005. En este esquema de planeación, el propósito de la utilización de los recursos geotérmicos sería el de ampliar el sistema de electrificación nacional (Anexo 3) con la construcción de plantas de sub-base. En particular, el proyecto geotérmico Tufiño está considerado de primera prioridad debido a que: a) posee atractivas condiciones geológicas, b) representaría una descentralización del sistema de alimentación nacional, c) no existe ningún proyecto hidroeléctrico previsto en el norte del país.

Como se mencionó anteriormente, dadas las características geográficas del Proyecto Tufiño, en marzo de 1982 se firmó un convenio de Cooperación Técnica entre los Gobiernos del Ecuador y Colombia para la continuación de los estudios a partir de la segunda fase de la prefactibilidad. Este convenio establece que OLADE se encargará de conseguir un préstamo de carácter no reembolsable para el financiamiento de los estudios. OLADE se encuentra actualmente realizando gestiones ante el BID con este objetivo.

Para la continuación de los estudios en Chalupas - Cotopaxi y Chachimbiro, INECEL solicitará financiamiento a las Repúblicas de Italia y Japón, países que se encuentran interesados en estos dos proyectos, siendo el presupuesto general para estos dos proyectos de 1,970,000 dólares de los cuales el 33% representa el aporte nacional incluyendo un aporte económico ofrecido por OLADE dentro del Programa Latinoamericano de Cooperación Energética (PLACE).

Todos los estudios de prefactibilidad previstos deberían ser terminados a fines de 1985. Cerca del área de Tufiño existen otras dos zonas potencialmente prometedoras: la caldera de Chalpatán y el Volcán Iguán. Sin embargo, estas dos zonas no serán consideradas para un estudio de prefactibilidad geotérmica en un futuro inmediato.

Simultáneamente el INE continuará colaborando con INECEL para adelantar las investigaciones geotérmicas en el valle de los Chillos y en Cuenca. En los planos del INE existe también un inventario de los recursos geotérmicos en el oriente y en la costa y programas de capacitación para técnicos ecuatorianos a fin de aumentar los recursos humanos nacionales en el campo de la geotermia. Está previsto finalmente un estudio para evaluar el potencial geotérmico de las Islas Galápagos, no obstante el hecho de que estas islas, que siendo consideradas como parque nacional (patrimonio de la humanidad) no podrían ser explotadas bajo el reglamento existente.

El INE puede contar con financiamientos de USAID y CEE para desarrollar los estudios geocientíficos previstos para su programa geotérmico. En particular el INE presentó recientemente (1983) una propuesta de financiamiento a la CEE para desarrollar una evaluación técnico-económica general de la geotermia en el Ecuador y otra propuesta al USAID para ejecutar una investigación geofísica (resistividad eléctrica) en la llanura alrededor del volcán Ilaló.

Algunas consideraciones geotérmicas generales sobre el Ecuador

Se sabe bien que la existencia de un campo geotérmico de alta entalpía capaz de ser comercialmente explotado para la producción de energía eléctrica, requiere la presencia de algunas condiciones geológicas favorables y reunidas como sigue:

1. Una fuerte anomalía térmica superficial generalmente relacionada con un cuerpo magmático somero de volumen y temperatura adecuada;
2. Una formación de rocas suficientemente permeables (reservorio) a una profundidad del orden de los 1,000-2,000 metros situada sobre la fuente de calor;
3. Una capa de rocas impermeables que cubre el reservorio;
4. Un régimen meteorológico e hidrogeológico adecuado para recargar el reservorio.

Casi todos los campos geotérmicos del mundo explotados para la generación eléctrica, se caracterizan por poseer importantes manifestaciones termales superficiales (fuentes de agua hirviente, fumarolas, solfataras, cráteres de explosión freática, etc.) que generalmente expresan en la superficie una fuente somera de calor magmático.

La ausencia de manifestaciones termales espectaculares en el Ecuador no debe ser interpretada como ausencia de toda fuente de calor magmático suficientemente importante como para generar campos geotérmicos de alta entalpía explotables comercialmente. Por el contrario, especialmente en la parte septentrional del Ecuador, existen numerosas evidencias geológicas favorables para la existencia de fuentes de calor magmático. Efectivamente, desde varios millones de años atrás hasta hoy en día, el Ecuador se ha interesado en una actividad volcánica muy importante en concomitancia con el poderoso levantamiento de la Cordillera de Los Andes. La parte septentrional del Ecuador es caracterizada por dos altas cadenas de montañas (Cordillera Occidental y Cordillera Real) que corren paralelas en dirección aproximadamente norte-sur y separadas por una zona hundida (Valle Interandino) resultado de importantes movimientos tectónicos distensivos recientes y actuales. Un gran número de edificios volcánicos de gran tamaño, muchos de los cuales son de edad muy reciente y algunos

todavía activos, cubren rocas metamórficas de varios tipos y edades que constituyen la base de ambas Cordilleras y del Valle Interandino. La enorme concentración de edificios volcánicos centrales (activos y/o muy recientes), la presencia de estructuras caldéricas recientes, la abundancia de productos volcánicos relacionados con una actividad altamente explosiva y la composición evolucionada de una gran parte del magma eruptado, son indicaciones indiscutibles de que la parte septentrional del Ecuador debe ser la sede de una anomalía térmica superficial de origen magmático de importancia regional.

También deben existir rocas suficientemente permeables para permitir la circulación de fluidos dentro de acuíferos relativamente profundos en muchas áreas como ha sido indicado por la intensa actividad tectónica y por la naturaleza litológica de algunas formaciones aflorantes (rocas fracturadas del zócalo metamórfico, gruesas secuencias de flujos de lava). La presencia de acuíferos subterráneos está además indicada por la abundancia de los productos freatomagmáticos que resultan de una interacción entre el magma caliente y agua de acuíferos existentes a una cierta profundidad.

Los abundantes productos piroclásticos y sedimentos continentales intercalados que especialmente rellenan el valle Interandino pueden fácilmente constituir cubiertas perfectamente impermeables.

Los desniveles topográficos importantes y la abundancia de las precipitaciones atmosféricas (lluvia y/o nieve) que caracterizan las Cordilleras ecuatorianas y el valle Interandino, son claras indicaciones de un sistema hidrogeológico adecuado para alimentar acuíferos profundos.

A una escala regional, parece entonces, que a lo largo de ambas cordilleras y del valle Interandino del Ecuador existen todas las condiciones geológicas necesarias para la existencia de campos geotérmicos de alta entalpía. El problema relacionado con la exploración geotérmica en el Ecuador es particularmente complicado, debido a la falta de

manifestaciones termales espectaculares en superficie, que consecuentemente no permiten una delimitación obvia de las áreas de interés. La ausencia de manifestaciones termales importantes probablemente está relacionada con una excesiva cantidad de agua meteórica fría y superficial que enmascara y/o impide la subida hasta la superficie de fluidos geotérmicos profundos. Además los productos volcano-sedimentarios abundantemente difundidos en todo el norte del Ecuador probablemente contribuyen a limitar la subida de fluidos profundos debido a su comportamiento plástico que minimiza la propagación de fallas y fracturas tectónicas hasta la superficie. Por lo tanto, el criterio vulcanológico, siendo prácticamente el único eficazmente aplicable en el ambiente geológico ecuatoriano para localizar áreas en donde existe el máximo de probabilidad de encontrar fuentes de calor magmático, fue lógicamente utilizado como el prioritario durante las diversas etapas de exploración geotérmica en el Ecuador. La misión está completamente de acuerdo con este tipo de estrategia que le permitió seleccionar las áreas de interés antes mencionadas en donde tendrían que realizarse algunos estudios en detalle.

Consideraciones geotérmicas sobre algunas áreas particulares

I. Imbabura-Cayambe

1. Chachimbiro

Como ya se mencionara anteriormente, los estudios complementarios después del Reconocimiento permitieron reducir la extensa zona de Imbabura Cayambe a un área más limitada (Chachimbiro) en donde INECEL quiere concentrar las futuras investigaciones de detalle sobre una superficie de 400 km² aproximadamente. Las justificaciones son las siguientes:

- a) Presencia de una formación explosiva importante (flujo piroclástico) de un magma de probable composición riolítica y de algunos domos de lava de la misma composición.
- b) Presencia de algunas fuentes de agua salada caliente (44-55°C) y fría
- c) Permeabilidad probable debido a fracturas en las rocas del zócalo metamórfico bajo la serie volcánica pliocénica.

2. Quicocha-Cotacachi

Esta área parece poseer también un interés geotérmico debido a las siguientes razones:

- a) Quicocha es una estructura caldérica reciente, resultado de una violenta erupción freatomagmática;
- b) En el interior de la caldera (ocupada por una laguna) existen algunos domos de lava que indican una continuación de la actividad volcánica después del colapso caldérico;
- c) La composición del magma eruptado está muy evolucionada (dacita y dacita, riolita)

Todo esto es una clara evidencia de la existencia de una cámara magmática somera de edad muy reciente cuyo límite podría ser representado por su volumen que no parece ser tan grande pero suficiente como para generar una anomalía de calor geotérmicamente interesante en esta área. La ausencia de fuentes termales no puede ser considerada como un argumento contrario, como fue discutido en el capítulo anterior.

El zócalo pre-volcánico de esta zona está constituido por rocas generalmente impermeables de tipo flysh, sin embargo, las lavas del importante estrato-volcano Cotacachi sobre el cual reposan los productos de Quicocha, podrían constituir potenciales reservorios porque parecen estar suficientemente fracturadas. De todas maneras, cualquiera sean las condiciones litológicas en el subsuelo, el hecho de que los productos freatomagmáticos que originaron el colapso caldérico de Quicocha, indican una interacción magma-agua a una cierta profundidad y por consiguiente, la existencia de condiciones potenciales de suficiente permeabilidad.

Tomando en cuenta el aspecto vulcanológico, la misión considera de primera prioridad, tanto el área de Quicocha-Cotacachi como el área de Chachimero. Sin embargo, la elección del área en donde se concentrarán los estudios de prefactibilidad, podría ser facilitada por algunas determinaciones radiométricas de la edad de los productos de ambas áreas.

II. Chalupas-Cotopaxi

El volcán Cotopaxi, considerando su actividad actual, su gran tamaño y la composición evolucionada de una gran parte de sus productos, podría ser considerado como una fuente importante de calor magmático. El programa de INCECEL preve concentrar los estudios de prefactibilidad en un área al sur del volcán Cotopaxi entre éste último y otro estrato volcán de edad desconocida pero no muy reciente (Quilindaña) localizado al interior de una estructura caldérica de gran tamaño (Chalupas). La abundancia de los productos freatomagmáticos del área de Chalupas parecen confirmar la existencia de una caldera regional. Los trazos morfológicos de la caldera de Chalupas no son muy evidentes también en la fotografías aéreas indicando entonces una edad probablemente antigua. Las informaciones disponibles en la zona Chalupas-Cotopaxi y en el área de Chalupas, en particular, no parecen ser suficientes a la fecha para una evaluación correcta de sus posibilidades geotérmicas. Además, las observaciones directas de la misión en esta zona fueron muy limitadas debido a las malas condiciones climáticas y a la dificultad de los caminos, por lo tanto, no es posible comentar en detalle. La ausencia de manifestaciones termales conocidas podría ser aparente estando toda esta zona prácticamente deshabitada.

Parece conveniente sugerir determinaciones radiométricas de la edad de los productos de Chalupas y de las lavas del Quilindaña como primera actividad en el contexto del estudio previsto de prefactibilidad en esta área.

III. Valle de los Chillos (Ilaló)

Esta área está ubicada en el Valle Interandino a unos 10 km al este de la ciudad de Quito. La parte más interesante de esta área está ubicada alrededor del volcán Ilaló en la base del cual se encuentran fuentes de agua caliente (40°C) dulce y a veces de un caudal importante. Algunos pozos sencillos perforados en la llanura al sur oeste del Ilaló han indicado también la presencia de agua termal a unos 100-120 metros de profundidad.

El Ilaló es un edificio volcánico relativamente pequeño constituido por flujos de lava básica (andesitas con dos piroxenos y andesitas con olivino) bastante erosionado por la glaciación cuaternaria.

Durante la fase de Reconocimiento geotérmico el Ilaló fue interpretado como un edificio tectónicamente hundido en concomitancia con la formación del Valle Interandino y subsecuentemente, cubierto en gran parte por los productos volcano sedimentarios y sedimentos continentales menores que rellenan el Valle. Todas estas evidencias sugirieron una edad bastante vieja del volcán Ilaló la cual fue confirmada por una medición radiométrica K/Ar de 1.6 millones de años sobre una de las últimas erupciones de este volcán. El área del Valle de los Chillos quedó por lo tanto, clasificada dentro de la categoría B (segunda prioridad) por el estudio de Reconocimiento debido a que el Ilaló, siendo un volcán bastante viejo, no podría ser considerado como fuente potencial de calor magmático suficientemente importante desde el punto de vista de los recursos geotérmicos de alta entalpía. Por esta razón, el INE solicitó trabajos de geología en detalle a la Escuela Politécnica Nacional de Quito en un contexto de proyecto geotérmico piloto para demostrar la economía de la utilización de las aguas calientes como fuente alterna de energía de baja entalpía a las numerosas industrias locales que usan actualmente combustibles fósiles para producir el calor que necesitan. Sin embargo, durante la visita de la misión se encontró un flujo de lava del Ilaló mucho más reciente que todos los otros, pero todavía de composición básica. Este flujo de lava descende por el flanco sur oeste del edificio hasta la llanura relleno completamente una quebrada glacial del Ilaló. Este flujo no presenta ningún signo de erosión glacial ni tampoco fluvial, por lo tanto, su edad podría ser reciente. Además esta última erupción del Ilaló parece estar relacionada con una falla reciente e importante que visiblemente corta el edificio a lo largo en una dirección noreste suroeste paralela a la dirección tectónica distensiva principal que controla el Valle Interandino. Durante la visita de la misión, fue posible, no obstante la cobertura de vegetación y de "Cangahua", recolectar una muestra de esta última manifestación del Ilaló, que debería ser utilizada por una medición de edad radiométrica K/Ar.

Si la edad radiométrica de esta lava fuera reciente, esta área podría ser reconsiderada en el contexto geotérmico del Ecuador porque podría significar que aquí la anomalía térmica sería más importante de la estimada hasta la fecha. Si se considera también la existencia de fuentes de agua caliente en esta área (hecho poco común en el Ecuador, como ya se ha discutido anteriormente) que además presentan anomalías geoquímicas de Boron y Amoníaco, no se puede excluir que el área del Valle de los Chillos sea la sede de una anomalía térmica bastante alta para crear condiciones geotérmicas de alta entalpía. En lo que concierne a la permeabilidad en profundidad, ésta podría ser suficiente, como indica la subida natural de las aguas termales y en los pozos someros que siempre se encuentran donde existe un máximo contraste de permeabilidad, es decir, al contacto entre los productos volcano sedimentarios impermeables que rellenan el Valle y las lavas fracturadas del Ilaló. El programa inmediato del INE en el Valle de los Chillos preve un estudio de resistividad eléctrica (financiado por USAID) en la llanura al sur oeste del Ilaló a fin de evaluar el espesor de los productos impermeables que cubren las lavas del Ilaló. Un estudio geoquímico detallado debiera ser ejecutado simultáneamente a fin de confirmar y detectar con mucho más precisión las anomalías anteriormente mencionadas, y detectar otras anomalías geoquímicas eventuales.

IV. Quenca

El estudio de reconocimiento clasificó el área de Quenca dentro de la categoría B (segunda prioridad) principalmente porque esta área no está interesada en manifestaciones volcánicas recientes. Sin embargo, considerando que en el área de Quenca existen las fuentes termales más calientes de todo el Ecuador (72-74°C) y que las manifestaciones termales de Baños cerca de la ciudad de Quenca, suben a través de una estructura semicircular y radial, en sus conclusiones el estudio de reconocimiento no excluye la posibilidad de la existencia de un cuerpo magmático de alta temperatura ubicado cerca de la superficie. Debido a las condiciones

atmosféricas desfavorables en el Ecuador durante el desarrollo de esta misión, no fue posible visitar Cuenca como fuera programado anteriormente. Sin embargo en base al estudio de las fotografías aéreas del área de Cuenca, la misión tiene que respaldar la hipótesis de la existencia de una fuente de calor magmático en esta área por las siguientes razones:

1. El volcanismo en esta área (y en el sur del Ecuador en general) fue activo hasta el límite Mioceno-Plioceno como indicado por la edad radiométrica K/Ar del cono de Cojitambo (6.3 m.a.). La falta de actividad volcánica posterior a esta época en el sur del Ecuador está probablemente relacionada con una actividad tectónica compresiva más ^{prolongada} /la cual al norte terminó en el plioceno cuando comenzó a formarse el Valle Interandino (el cual no existe en el sur) con volcanismo central andesítico asociado. Cualquiera sea la razón de la falta de volcanismo cuaternario en el sur del Ecuador, ésta no puede ser la situación tectónica actual que, por el contrario, parece de tipo distensivo en escala regional. Esta situación estructural puede por lo tanto, favorecer la subida de magmas generados en profundidad hacia niveles superficiales al interior de la corteza continental sin producir necesariamente erupciones en la superficie.
2. La presencia de fuentes termales de baja salinidad y con las más altas temperaturas encontradas en todo el Ecuador es un indicio muy importante de termalidad especialmente considerando que las condiciones meteorológicas e hidrogeológicas de esta zona no pueden ser muy diferentes de las existentes en el norte del país.
3. La estructura semi-circular donde actualmente suben las aguas calientes de Baños, parece ser solo la parte interior de una estructura circular más ancha que la rodea como se indica por la curva (no condicionada por ningún relieve) que trazan los cursos de algunos pequeños ríos y por la presencia de depósitos de travertino fósil.
4. A unos 20-30 km al noreste de la ciudad de Cuenca, en un área que nunca fue visitada durante el estudio de reconocimiento, se pueden observar en las fotografías aéreas numerosas estructuras de colapso de forma semi-circular, semi-elíptica y también perfectamente circulares de 1 a 3-4 km de ancho. Tomando en cuenta su distribución (todas están prácticamente concentradas en una sola fotografía aérea en la escala 1/60,000) y la topografía

relativamente pareja de esta área, estas estructuras no pueden ser explicadas como resultado de una erosión glacial y/o fluvial ni por derrumbe. Cabe destacar que la estructura más al norte que tiene una forma perfectamente circular con un diámetro de 1 km y una profundidad de unos cien metros, revoca un típico cráter de explosión freática. Si esta naturaleza pudiera ser confirmada en la base de una investigación de campo detallada, significaría que el área de Cuenca debería ser considerada de primera prioridad absoluta para realizar un proyecto geotérmico de alta entalpía. En efecto, la presencia de cráteres de explosión freática que especialmente en este tipo de terreno no pueden ser confundidos con cráteres volcánicos normales indica:

- a) una fuente de calor magmático somera
- b) un reservorio suficientemente permeable
- c) formación de una capa de vapor con alta temperatura y presión bajo el techo del reservorio
- d) existencia de una formación de rocas impermeables sobre el reservorio
- e) una edad actual del sistema geotérmico.

V. Tufiño

Durante el desarrollo de esta misión no fue posible visitar esta área, por lo tanto, no existen comentarios al respecto. El área de Tufiño es la más conocida, ya que la primera fase del estudio de prefactibilidad que confirmó su alto interés geotérmico, ha sido terminada. La segunda fase de prefactibilidad que ha sido prevista (principalmente geofísica) tendría que ser ejecutada en un futuro próximo, sin embargo, toda decisión operativa estará condicionada probablemente por el reglamento del acuerdo firmado en 1982 entre los Gobiernos del Ecuador y de Colombia para desarrollar conjuntamente las actividades geotérmicas en esta zona fronteriza.

VI. Península Santa Elena

Las malas condiciones climáticas no permitieron a la misión visitar esta zona como había sido previsto. La Península Santa Elena, situada a lo largo de la costa pacífica pertenece a un ambiente geológico completamente diferente del de la Cordillera. En esta zona no existen posibilidades de encontrar recursos geotérmicos de alta entalpía, como también se ha indicado

por la presencia de recursos petrolíferos. El INE está interesado en demostrar la economía que resulta de la utilización de algunas fuentes termales (33°C) existente en la Península Sta. Elena. La mayor y única utilización en esta área parece ser el calentamiento del agua del océano hasta una temperatura constante de 28°C para utilizarse en una industria de cultivo de camarones.

Islas Galápagos

No obstante el estatuto particular de estas islas el cual prohíbe cualquiera actividad que pudiese dañar su ambiente natural, el Gobierno parece estar interesado en realizar un estudio puramente geo-científico para evaluar el potencial geotérmico de estas islas. Las Galápagos son islas volcánicas activas y/o muy recientes en donde podrían existir condiciones favorables para los recursos geotérmicos de alta entalpía. Probablemente el problema principal de las Galápagos es su naturaleza hidrogeológica, siendo la mayoría de estas rocas muy permeables en su superficie y con un régimen de precipitación atmosférica bastante bajo. Por otro lado, un eventual reservorio geotérmico podría ser alimentado por el agua del océano. El estudio previsto para evaluar el potencial geotérmico de las Islas Galápagos tendría que programarse cuidadosamente a fin de conservar este ambiente natural único en el mundo. Las Naciones Unidas a través de su Departamento de Cooperación Técnica para el Desarrollo (DCTD) podría enviar a solicitud del Gobierno ecuatoriano, un asesor técnico para la geotermia experto en vulcanología para evaluar y recomendar el tipo de actividad más adecuada que se podría ejecutar en dichas islas para realizar este proyecto.

Conclusiones y Recomendaciones

El Ecuador es un país potencialmente rico en recursos geotérmicos de alta entalpía. Existe especialmente a lo largo de la Cordillera de Los Andes en toda la parte norte del Ecuador, una alta concentración de edificios volcánicos activos y/o muy recientes. En el sur del Ecuador existen algunas áreas (Cuenca, por ejemplo) en donde se encuentran evidencias de anomalía térmica que está probablemente relacionada con el magma no obstante la ausencia de actividad volcánica reciente.

Las condiciones de permeabilidad suficiente en profundidad varían de zona en zona, pero algunas áreas ya han sido identificadas. La ausencia generalizada de manifestaciones termales espectaculares en superficie (fuentes de agua hirviente, fumarolas de altas temperaturas, zonas de intensa alteración hidrotermal, cráteres de explosión freática, etc.) está relacionada con las condiciones climáticas e hidrogeológicas particulares del Ecuador, especialmente a lo largo de la Cordillera. Este hecho limita fuertemente la subida hacia la superficie de los fluidos geotérmicos profundos con consecuente ausencia de importantes manifestaciones que, por lo tanto, complican el trabajo de investigación para precisar las áreas de mayor interés donde se pueden concentrar los estudios detallados necesarios.

Sin embargo, las investigaciones geotérmicas realizadas hasta la fecha en el Ecuador, han permitido seleccionar, sobre todo en base vulcanológica y petrológica, algunas áreas prioritarias en donde las investigaciones necesarias tendrían que ser efectuadas siempre y cuando se obtenga el financiamiento.

En base a los datos existentes y observaciones directas, la misión desea hacer las siguientes recomendaciones a fin de facilitar el desarrollo futuro de las investigaciones geotérmicas en el Ecuador:

1. Convendría eliminar la división de los tipos de investigación geotérmica existente entre INE e INECEL, instituciones interesadas en proyectos geotérmicos de baja y de alta entalpía, respectivamente. Se recomienda una estrecha colaboración técnica, científica y organizadora entre el INE e INECEL, preferentemente bajo la supervisión técnica de OLADE, para ejecutar las investigaciones geotérmicas ya programadas en el Ecuador. Esto podría facilitar la recopilación de datos científicos y reducir el costo y la duración de los proyectos. La división actual de las áreas en donde se espera encontrar recursos de baja o alta entalpía no parece adecuada por el momento. Si se puede aceptar en principio la escala de prioridad ya establecida los datos disponibles no permiten clasificar con seguridad dentro de la categoría "baja entalpía", ninguna de las áreas consideradas en este informe, (exceptuando la Península Santa Elena). Solo las investigaciones futuras permitirán evaluar el potencial geotérmico real de las diferentes áreas del Ecuador.

2. Una serie de actividades de bajo costo tendrían que realizarse con prioridad en las siguientes áreas:

- a) Determinaciones radiométricas (K/Ar) de la edad de los productos del área de Chachimbiro (pomez del flujo piroclástico y lavas de los domos)
- b) Determinaciones radiométricas (^{14}C) de la edad del importante horizonte de paleosuelo, encontrado durante la visita de la misión, sobre el cual reposan los productos piroclásticos precaldera del Quicocha).
- c) Determinaciones radiométricas (K/Ar) de la edad de los productos freatomagmáticos de Chalupas y de las lavas del Quilindaña y posiblemente de la lava y del flujo piroclástico asociado con el cono Buenavista.
- d) Complementos de análisis geoquímicos de vertientes y pozos, tanto calientes como fríos para confirmar la presencia de anomalías de Amoníaco y Boro ya encontradas en el valle de los Chillos y análisis geoquímicos de gases como H_2S , H_2 , CH_4 en la misma área.

- e) Datación radiométrica (K/Ar) de la edad de la lava de la última erupción del volcán Ilaló muestreada en la presente misión, previa constatación petrográfica del buen estado de conservación de la roca. Esta determinación de edad tendría que ser confirmada sobre una segunda muestra de la misma lava que debería ser recolectada cuidadosamente en otra parte del mismo flujo, preferentemente cerca del punto de emisión en la cumbre del Ilaló.
- f) Detalladas investigaciones concentradas especialmente por un experto geovulcanólogo en el área entre 20 y 30 km al noreste de la ciudad de Cuenca en donde se observan importantes estructuras semicirculares y circulares que podrían ser cráteres de explosión freática. Investigaciones con el mismo propósito en el área alrededor de las fuentes de Baños. En toda esta zona tendrían que ejecutarse análisis geoquímicos de gran detalle.

3. La propuesta de OLADE de evaluar el potencial geotérmico de dos zonas seleccionadas (Tufiño e Ilaló-Chalupas) parece interesante. En este contexto el sistema de las Naciones Unidas podría contribuir con el envío de algunos expertos de alto nivel internacional: vulcanólogo, geoquímico y geofísico (éste último especializado en técnicas de mediciones de flujo de calor) por un período de un mes. El Departamento de Cooperación Técnica para el Desarrollo (DCTD) tiene la capacidad técnica para seleccionar a dichos expertos. Esta asistencia preparatoria, cuyo costo sería modesto (40,000-50,000 dólares) permitiría incluir al Ecuador dentro de la categoría de los países en donde el DCTD ejecuta activamente proyectos de exploración geotérmica bajo el financiamiento del PNUD.

4. Sería conveniente que los técnicos ecuatorianos de instituciones como el INE, INECEL, Escuela Politécnica etc., participaran activamente en los cursos de capacitación en diferentes disciplinas de exploración y explotación geotérmica organizados por OLADE, especialmente en ocasión del curso de vulcanología que comenzará el 1º de julio de este año en Quito.

BIBLIOGRAFIA

OLADE - Aquater - BRGM Proyecto de investigación geotérmica de la República del Ecuador. Estudio de Reconocimiento. Informe final. 1980.

INECEL - El proyecto geotérmico Tufiño (Ecuador). Boletín Energético OLADE No. 20, 1981.

INE - Proyectos geotérmicos Valle de los Chillos y Cuenca. Informe técnico, 1983. (en francés)

Mapa geológico de la República del Ecuador. 1/1,000,000, 1969.

ANEXO 1

Itinerario

23/4/83	Llegada a Quito a las 11:45
24/4/83	Domingo libre
25/4/83	Reunión en oficinas del PNUD, INE, OLADE, INECEL
26/4/83	Reunión en oficinas del INE
27/4/83	Reunión en oficinas del INE y Escuela Politécnica Nacional
28/4/83	Visita de campo en el valle de los Chillos
29/4/83	Reunión en oficinas de INECEL y OLADE
30/4-1/5	Visita de terreno en la zona de Imbabura
2/5/83	Visita de terreno en el valle de los Chillos
3/5/83	Visita de terreno en la zona Cotopaxi-Chalupas
4/5/83	Reunión en oficinas del INE
5/5/83	Reunión en oficina del INE con INECEL y OLADE
	Reunión en oficinas del PNUD
6/5/83	Salida de Quito a las 08:20

Personas Entrevistadas

INE

Dr. Carlos Quevedo Teran, Director Ejecutivo
Ing. Patricio Romero J., Asesor, Geólogo
Ing. Michel Lopoukhine, Asesor geoquímico

INECEL

Ing. Eduard Aguilera, Director Proyecto Geotérmico
Ing. Eduardo Almeida, Vulcanólogo
Ing. Gastón Sandoval, Geoquímico

OLADE

Dr. Ulises Ramírez Olmos, Secretario Ejecutivo
Dr. Luis Claudio Magalhaes, Director Técnico
Dr. Gustavo Quellar, Coordinador Programa Regional Geotermia
Ing. Luis Zúñiga, Asesor Geofísico

PNUD

Dr. Aldo Solari, Representante Residente

Lic. Alicia de Flores, Oficial de Programa

Escuela Politécnica Nacional

Ing. Marco Estrella, Geólogo

Ing. Armin Jansen, Geólogo

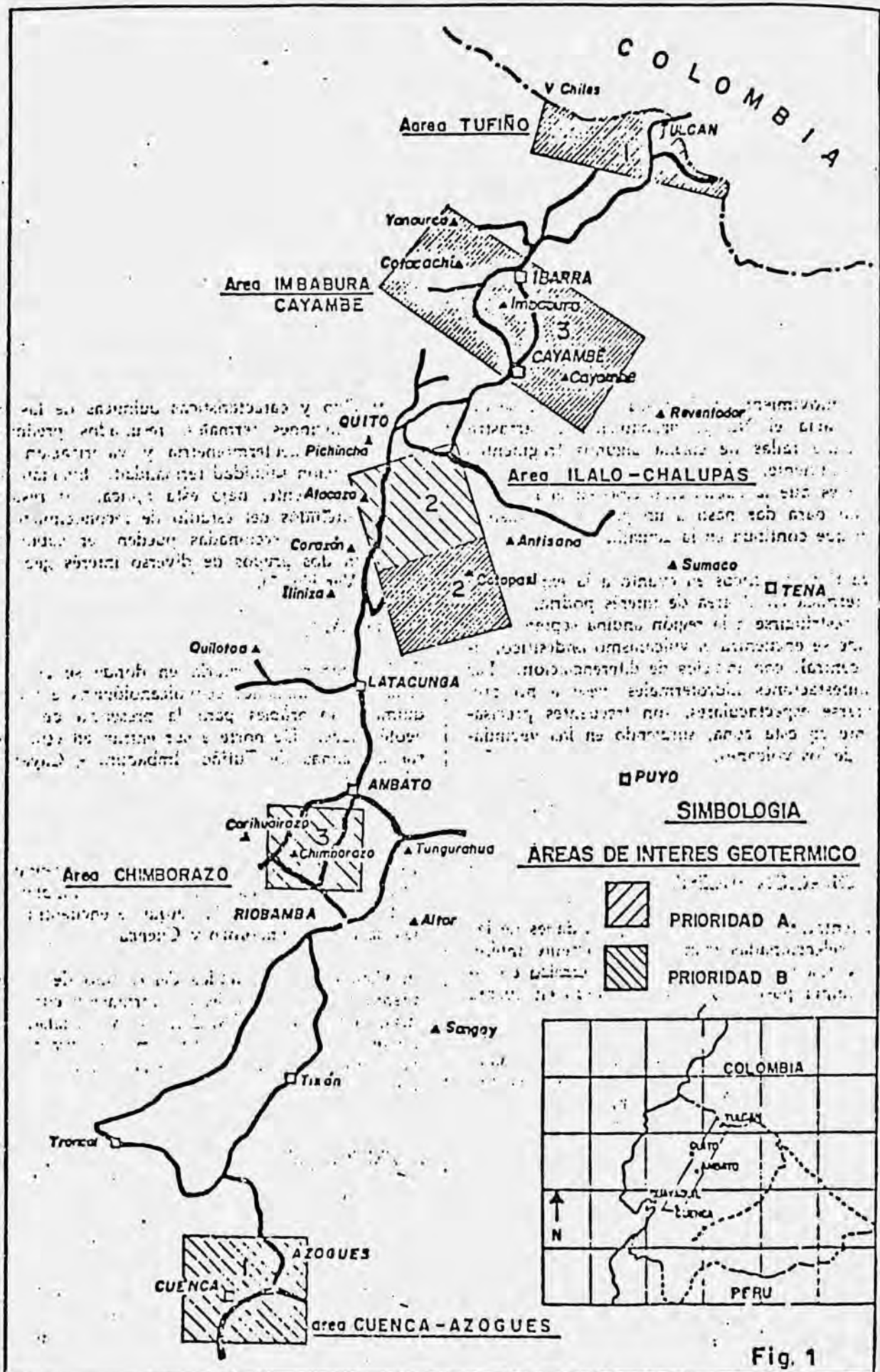
Consultores Independientes

Dr. José Manuel Navarro, Vulcanólogo

Dr. Evelio Ferreiro Padin, Geólogo

Deseo agradecer a todas estas personas y también a las que haya omitido, por su gran hospitalidad, por el profundo interés que demostraron en la misión que realicé y por la organización a las visitas de terreno.

ANEXO 2



ANEXO 3
SISTEMA NACIONAL DE TRANSMISION

