
BOLETIN ENERGETICO



201 / Organización Latinoamericana
de Energía

MAYO/JUNIO/1981

PROGRAMA REGIONAL DE GEOTERMIA DE LA OLADE **olade** I
COLOQUIO SOBRE EL CAMPO GEOTERMICO DE MOMOTOMBO (NI-
CARAGUA) **olade** ESTUDIOS GEOTERMICOS DE LA REPUBLICA
DE NICARAGUA **olade** EXPLORACION GEOTERMICA EN GUATE-
MALA **olade** PROYECTO DE EXPLORACION GEOTERMICA **olade**
GEOTERMIA Y MEDIO AMBIENTE **olade** CURSOS DE ESPECIALIZA-
CION EN GEOTERMIA **olade** INTERPRETACION GEOQUIMICA DE
ZONAS DE ALTERACION HIDROTERMAL DE ECUADOR, PERU, REPU-
BLICA DOMINICANA Y HAITI **olade** BAJA Y MEDIA ENTALPIA **olade**
EL PROYECTO GEOTERMICO TUFINO **olade** REGISTROS GEOFISICOS
EN POZOS GEOTERMICOS **olade** OLADE INFORMA **olade**

EL PROYECTO GEOTERMICO TUFINO

(ECUADOR)

Eduardo Aguilera Ortíz*
JEFE DEL PROYECTO GEOTERMICO — INECEL

1. Antecedentes

El aumento siempre creciente de los precios de los combustibles ha planteado a todos los países la improrrogable necesidad de buscar y desarrollar nuevas fuentes de energía. Entre dichas fuentes, la energía geotérmica tiene la ventaja de ser un recurso natural, generalmente renovable, que resulta apto para la producción de electricidad a costos competitivos.

Dentro de este enfoque y en vista de la situación fisiogeográfica favorable del territorio nacional, ubicado en el "Cinturón Circumpacífico", se presentan condiciones alentadoras para el desarrollo de los recursos geotérmicos aprovechables para la generación eléctrica.

Con estos antecedentes y cumpliendo sus objetivos fundamentales señalados en la Ley Básica de Electrificación, a partir de 1977 el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) incluyó a la geotermia entre los recursos naturales con posibilidades de utilización y que, por lo tanto, debían ser adecuadamente estudiados y evaluados.

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), por otra parte, de acuerdo con los objetivos fundamentales del Capítulo II de su convenio constitutivo, en cuanto a la necesidad de promover, coordinar y orientar a los Estados Miembros sobre las posibilidades de utilización de fuentes no conven-

cionales, inició en 1979 un programa sobre geotermia mediante un proyecto regional que incluyó a la República del Ecuador.

Mediante un convenio de Cooperación Técnica, suscrito entre INECEL y OLADE el 17 de mayo de 1979, se ha desarrollado un proyecto conjunto de reconocimiento de los recursos geotérmicos de alta entalpía.

Los resultados geocientíficos obtenidos permiten individualizar las áreas prospectivamente más interesantes dentro de un ámbito regional de unos 18.000 Km² e, incluso, la conformación de un orden de prioridades para un eventual desarrollo de los estudios de detalle correspondientes a las fases de exploración sucesivas (prefactibilidad y factibilidad).

Los estudios de campo y laboratorio, inherentes a este proyecto, fueron realizados de acuerdo con la metodología OLADE para el reconocimiento de recursos geotérmicos en áreas volcánicas dentro de un plazo de 14 meses que fuera establecido desde el inicio.

Conviene señalar que con este proyecto se empezó a utilizar dicha metodología con resultados positivamente alentadores.

1.1 METODOLOGIA DE EXPLORACION Y RASGOS GEOLOGICOS GENERALES DEL ECUADOR.

Como queda dicho, los trabajos de investigación fueron realizados según la metodología OLADE para la fase de reconocimiento de recursos geotérmicos, que de modo general se inspira en un modelo de campo geotérmico que comprende los siguientes elementos esenciales:

Una fuente de calor, un reservorio, una cobertura impermeable y una recarga de agua hacia el reservorio.

El territorio continental ecuatoriano está integrado por cuatro ambientes geológicos muy diversos:

- 1.— *La Plataforma Costera* constituida por un zócalo de corteza oceánica levantada sobre el cual se apoyan formaciones sedimentarias. Estas formaciones son marinas desde el Cretácico hasta el Plioceno medio y continentales desde este último hasta la actualidad;
- 2.— *La Cordillera Andina* gran macizo montañoso que se extiende en dirección aproximada NNE-SSW, sobre el cual se ha concentrado casi toda la actividad volcánica reciente. Los materiales volcánicos forman una amplia cobertura que recubre, discordantemente, un substrato pre-Plioceno formado por rocas metamórficas y vulcano-sedimentarias muy transformadas durante los episodios orogénicos;
- 3.— *La Franja Subandina Oriental* que agrupa a varias sierras bajas situadas en el tránsito de la Cordillera Andina a la Llanura Amazónica. Tectónicamente es una zona de escamas que convergen hacia el E. en donde el macizo metamórfico andino cabalga sobre formaciones meso y cenozoicas.
- 4.— *La llanura amazónica* perteneciente ya al ám-

bito del escudo guyano-brasileño, aunque se encuentra recubierta por una potente capa de sedimentos.

La Cordillera Andina en el Ecuador presenta rasgos distintos según se trata de la porción septentrional o de la meridional. En el norte, los Andes se bifurcan en dos cadenas montañosas (Cordillera Occidental y Cordillera Real) que corren paralelamente separadas por un gran valle logitudinal (Depresión Interandina). Esta topografía tiene una correlación estructural bien definida puesto que las cordilleras pueden considerarse como sendos horst en tanto que la depresión corresponde a un graben.

Es precisamente en este segmento septentrional donde se ha concentrado la actividad volcánica durante el Pliocuaternario, y actualmente existen estrato-volcanes en actividad persistente o residual.

Por el contrario, en el segmento andino y meridional no se observan tales características fisiográficas y estructurales. Tampoco parece haber existido actividad volcánica reciente, aunque hay una amplia secuencia de ignimbritas riolíticas de edad dudosa. En cualquier caso, en el segmento meridional no aparece el gran vulcanismo andesítico pliocuaternario que, en el norte, ha construído numerosos y elevados estravolcanes.

Ambos segmentos parecen tener una historia geológica común hasta mediados del Plioceno cuando comienza a diverger su comportamiento tectónico y, correlativamente, la intensidad y naturaleza de los fenómenos volcánicos.

La porción meridional es una prolongación de los Andes Peruanos y seguiría ligada, por lo tanto, a la subducción de la placa Nazca bajo la placa Sudamericana con una actividad más o menos continua de compresión. Por el contrario, en el sector septentrional parece repercu-

tir el movimiento de la placa Cocos que se dirige hacia el NE y, probablemente, arrastra mediante fallas de cizalla algunos fragmentos de continente. En todo caso, lo que parece claro es que la subducción cesó en el Plioceno medio para dar paso a un período de distensión que continúa en la actualidad.

Para fines prácticos en cuanto a la explotación geotérmica en el área de interés podría, entonces, restringirse a la región andina septentrional donde se encuentra el vulcanismo andesítico, tipo central, con indicios de diferenciación. Las manifestaciones hidrotermales, pese a no presentarse espectaculares, son frecuentes precisamente en esta zona, surgiendo en las vecindades de los volcanes.

1.2 DEFINICION DE PRIORIDADES PARA LA EXPLORACION SUCESIVA.

Una tentativa de definición de prioridades de las áreas seleccionadas como potencialmente interesantes desde el punto de vista geotérmico de alta entalpía puede ser hecha tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- a) Ubicación de la zona dentro de una región afectada por fenómenos volcánicos recientes que lo convierten, potencialmente, en sede de una anomalía regional de flujo de calor.
- b) Intensidad, volumen y edad del vulcanismo en el interior de cada una de las áreas; presencia, o no, de productos magmáticos evolucionados originados por fraccionamiento superficial.
- c) Condiciones hidrogeológicas generales, particularmente en cuanto a la presencia de zonas de recarga con posibilidades de alimentar a acuíferos del substrato volcánico.

- d) Tipo y características químicas de las manifestaciones termales, resultados preliminares de la geotermometría y valorización de la relación salinidad termalidad. Evaluando sintéticamente, bajo esta óptica, los resultados obtenidos del estudio de reconocimiento, las zonas seleccionadas pueden ser subdivididas en dos grupos de diverso interés geotérmico (Ver Fig. 1).

GRUPO A:

Es la categoría prioritaria en donde se encuentran todas las condiciones geovulcanológicas e hidrogeológicas favorables para la presencia de sistemas geotérmicos. De norte a sur entran en esta categoría las zonas de Tufiño, Imbabura - Cayambe y Chalupas.

GRUPO B:

Esta categoría comprende zonas que presentan interesantes indicios geotérmicos pero incompletos respecto a las del grupo A. Aquí se encuentra las zonas de Ilaló Chimborazo y Cuenca.

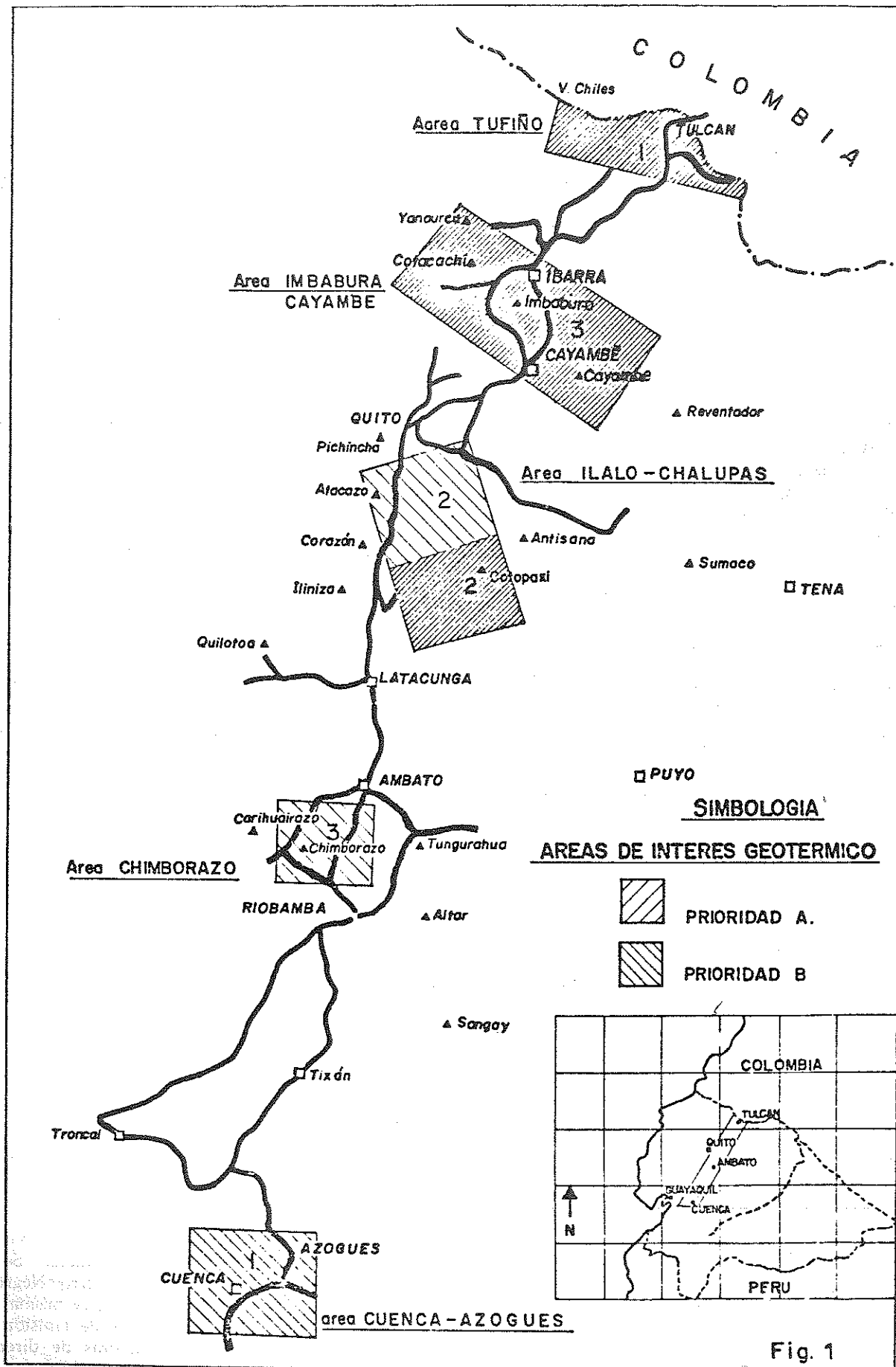
En vista de los resultados del estudio de Reconocimiento y del análisis de la información complementaria, obtenida por INECCEL, se ha señalado finalmente a la zona de Tufiño como la primera prioridad para continuar realizando la exploración geotérmica.

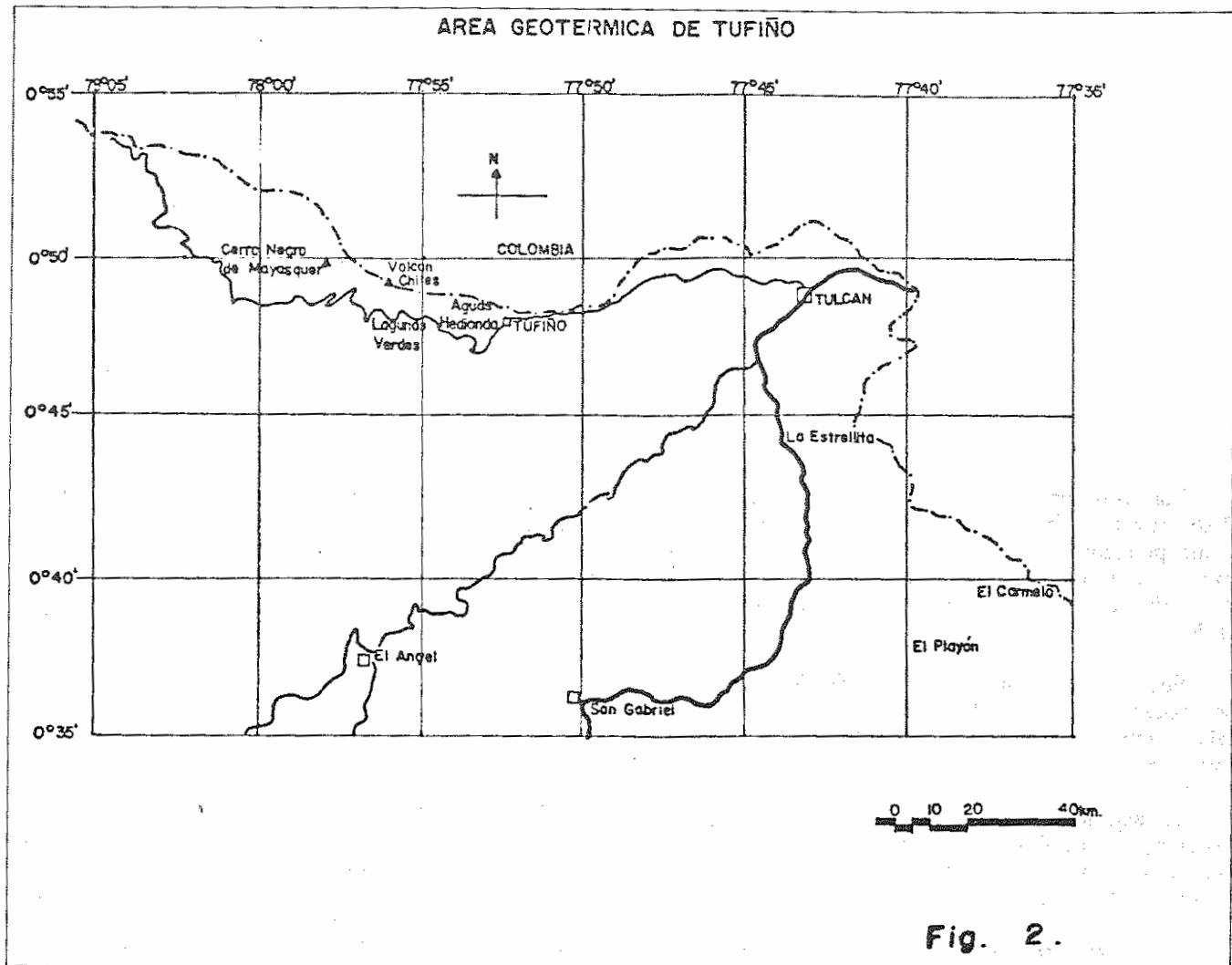
2. PRINCIPALES CARACTERISTICAS VULCANOLOGICAS E HIDROGEOLOGICAS DEL AREA DE TUFINO

Fig. 2)

Comprende una faja de unos 10 - 15 Km. de ancho, paralela a la frontera con Colombia. Se destaca la presencia de los volcanes Cerro Negro de Mayasquer y Chiles, ubicados sobre una misma fractura de dirección E-W, con centros de emisión que se localizan en el cruce con fracturas de dirección N-S.

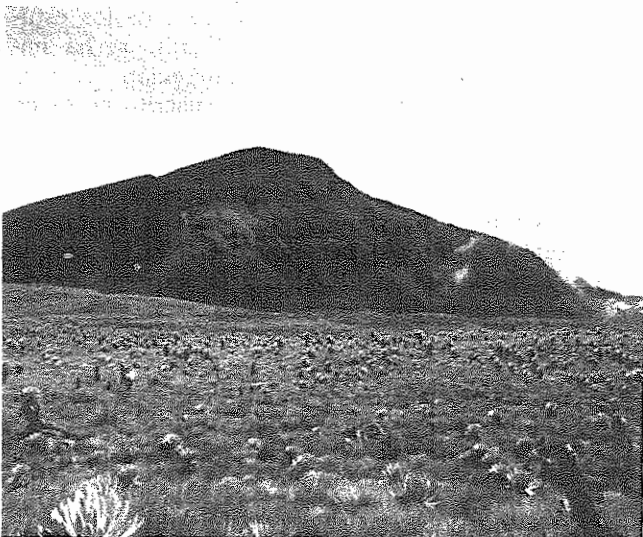






Volcán Cerro Negro de Mayasquer, 4460 m.s.n.m. hasta hace muy poco tiempo se veía actividad fumarólica en el interior de su cráter, del cual se extraía azufre hace dos décadas.

Lagunas verdes 3.900 m.s.n.m. extenso cráter de explosión freática de aproximadamente 500 m de diámetro ubicado en el flanco sur del volcán Chiles. Este tipo de cráteres se forman por la explosión de acuíferos superficiales al ser calentada el agua hasta convertirla en vapor el cual vence la presión de las rocas que cubren el acuífero explosionado y formando un cráter. En este sitio antiguamente se extraía azufre. El calor proveniente del interior del volcán Chiles produjo este cráter de explosión freática.



Los dos aparatos son muy recientes (Chiles 0.16 m.a.) y han evolucionado tanto estructural como petrológicamente. La composición de los productos emitidos varía entre basaltos y riolacitas, lo cual afirma la idea de la existencia de un magma estacionario.

Sobre la vertiente meridional del Volcán Chiles se encuentra un cráter tipo maar y trazas de una intensa actividad fumarólico-hidrotermal que afecta intensamente a los productos precaldera.

La actividad termal persiste y se evidencia en las fuentes termales (50°C) con emisión de gases ricos en CO₂ y H₂S presentes en el sitio Aguas Hediondas y Lagunas Verdes.

El vulcanismo reciente sigue, más al norte, en Colombia, con el gran volcán activo Cumbal y con otros estratovolcanes activos (Galeras, Doña Juana, etc.).

El modelo de circulación hídrica subterránea en esta zona puede esquematizarse del modo siguiente:

- La recarga en la zona del Volcán Chiles — Tufiño-Cerro Negro — El Angel es importante (400 mm anuales).
- Una recarga con una media de 50 mm ocurre en la zona de Machines — El Angel.
- Un tercer aporte, proveniente del Este, es decir desde La Estrellita y El Playón no ha podido ser cuantificado; de todas formas se le considera menor.

Todas estas áreas se encontrarían en continuidad hidráulica, (sin separación por tabiques impermeables). Sin embargo, se deben considerar los cambios de permeabilidad de la cangahua que harían variar el volumen de infiltración de zona a zona.

Se encuentran en esta área aguas de varios tipos químicos tales como sulfatadas alcalinotérricas —

alcalinas, bicarbonatadas alcalinotérricas — alcalinas de baja y medio — alta salinidad, sulfatadas — bicarbonatadas — cloruradas alcalinas que no pueden incluirse dentro del esquema clasificativo general.

Con los geotermómetros se han estimado temperaturas interesantes (T 250°C con el geotermómetro Na/K).

3. ESTADO ACTUAL DE LOS ESTUDIOS

La realización de los estudios inherentes a la fase de prefactibilidad requiere, obviamente, de un esfuerzo financiero que por algunas causas no se ha logrado aún concretar; sin embargo, en vista, principalmente, de que INECCEL dispone de un grupo de trabajo formado en geotermia, se ha decidido subdividir los estudios de prefactibilidad, sin apartarse de la metodología de OLADE.

En efecto, se ha previsto realizar en una primera fase los estudios geocientíficos referentes a vulcanología, hidrogeología y geoquímica que permitirán, incluso, una optimización de los programas de investigación del subsuelo que se realizarán más tarde una vez que se haya definido el problema financiero.

Para la ejecución de la primera fase de los estudios de prefactibilidad del Proyecto Tufiño se ha implementado un Convenio de Cooperación Técnica INECCEL-OLADE, el mismo que fue suscrito el 29 de Mayo del año en curso.

Dentro de un plazo de ocho meses se aspira a realizar los estudios geovulcanológicos y geoquímicos mediante el propio personal del INECCEL con la asistencia técnica de la OLADE y de expertos extra-regionales contratados para el efecto.

REFERENCIAS

- OLADE (1980). Proyecto de Investigaciones Geotérmicas de la República del Ecuador. Informe Final.
- INECEL (1979). Estudio Geológico Preliminar del Area de Tufiño — Carchi.
- INECEL (1979). Estudio Hidrogeoquímico Preliminar del Area de Tufiño — Carchi.

J. Orenz

ENERGY BULLETIN



Latin American Energy Organization

May-June/1981

THE REGIONAL GEOTHERMAL PROGRAM OF OLADE **olade** FIRST COLLOQUIUM ON THE GEOTHERMAL FIELD OF MOMOTOMBO (NICARAGUA) **olade** GEOTHERMAL STUDIES IN THE REPUBLIC OF NICARAGUA **olade** GEOTHERMAL EXPLORATION IN GUATEMALA **olade** GEOTHERMAL EXPLORATION PROJECT: THE RECONNAISSANCE PHASE IN THE ANDEAN AND CARIBBEAN SUB-REGIONS **olade** GEOTHERMICS AND ENVIRONMENT **olade** SPECIALIZED COURSES IN GEOTHERMICS **olade** GEOCHEMICAL INTERPRETATION OF AREAS WITH HYDROTHERMAL ALTERATIONS IN ECUADOR, PERU, THE DOMINICAN REPUBLIC, AND HAITI **olade** LOW AND MEDIUM ENTHALPY **olade** THE TUFINO GEOTHERMAL PROJECT (ECUADOR) **olade** GEOPHYSICAL LOGS IN GEOTHERMAL WELLS **olade** OLADE REPORTS

THE TUFÍÑO GEOTHERMAL PROJECT (ECUADOR)

Eduardo Aguilera Ortiz *

1. ANTECEDENTS

The progressively higher price of fuels has made manifest to all countries the imperative need to seek and develop new sources of energy. Among such sources, geothermal energy has the advantage of being a natural, generally renewable, resource, which proves apt for the production of electricity at competitive costs.

Within this focus, and in view of the favorable physico-geographical situation of the national territory, in the Circumpacific Belt; encouraging conditions are presented for the development of geothermal resources, for their use in the generation of electricity.

With these antecedents, and in compliance with the fundamental objectives of the Basic Law of Electrification, beginning in 1977, the Ecuadorian Institute of Electrification (INECEL) included geothermal sources among the natural resources which, had possibilities for future utilization and which, therefore, should be suitably studied and evaluated.

In 1979, in accordance with the basic objectives of Chapter II of its founding document —the promotion, coordination, and orientation of the Member States with respect to the possibilities for using non-conventional sources of energy— the Latin American Energy Organization (OLADE) began a regional

geothermal program which included the Republic of Ecuador.

Through a technical cooperation agreement signed between INECEL and OLADE on May 17, 1979, a reconnaissance project has been developed for the geothermal resources of high enthalpy.

The geoscientific results obtained permit the singling out of the most promising areas within the regional scope of some 18,000 km² and the establishment of an order of priorities for the eventual development of the detailed studies corresponding to successive exploration phases (prefeasibility and feasibility).

The laboratory and field work inherent in this project was done in accordance with the OLADE methodology for the reconnaissance of geothermal resources in volcanic areas, and within a 14-month period.

It is useful to point out that this project was the first to use the aforementioned methodology, with which it obtained good results.

1.1. Exploration Methodology and General Geological Features in Ecuador.

As has been mentioned, the investigations were done according to the OLADE methodology for the reconnaissance phase of geothermal explo-

*Head of the Geothermal Project - INECEL

ration, which, in general, is based on a geothermal model with the following essential features: a heat source, a reservoir, cap rock, and water recharge to the reservoir.

The continental territory of Ecuador is composed of four quite different geological settings:

The Coastal Platform is constituted by a base of raised oceanic crust which supports sedimentary formations. The marine formations correspond to the Cretaceous to Middle Pliocene eras; and the continental part continues from that time forward.

The Andean Cordillera is a large mountain range which extends approximately in a NNE - SSW direction and in which almost all of the recent volcanic activity has been concentrated. The volcanic materials form a wide covering which extends discordantly over a Pre-Pliocene substratum formed by metamorphous and volcano-sedimentary rocks which were greatly transformed during orogenic episodes.

The Eastern Sub-Andean Strip groups several low sierras located in the path of the Andean Cordillera in its transition to the Amazon Plain. Tectonically, it is an area of terraces which converge eastwardly towards where the metamorphous mass of the Andes becomes superimposed on plain and cenozoic formations.

The Amazon Plain now belongs to the Guyana-Brazilian plain, although it is covered by a thick layer of sediments.

The Andean Cordillera in Ecuador presents different features, which vary according to its septentrional or meridional portions.

In the North, the Andes divide into two mountain chains (the Cordillera Occidental and the

Cordillera Real) which are separate but parallel and which run alongside a long valley (the Inter-Andean Depression). This topography has a well-defined structural correlation; the cordilleras can be considered horsts, and the depression would correspond to a graben.

It is precisely this septentrional segment where volcanic activity has been concentrated during the Plioquaternary, and where eight stratovolcanos currently exist, with persisting or residual activity.

On the other hand in the meridional Andean segment such physiographic and structural characteristics are not observed; and it seems that no recent volcanic activity exists, although there is a broad sequence of rhyolitic ignimbrites of uncertain age. In any case, the large andesitic plioquaternary volcanism which has given rise to numerous high stratovolcanos in the North does not appear in the meridional segment.

Both segments seem to have had a common geological history until the middle of the Pliocene when their tectonic behavior and, correlatively, the intensity and nature of the volcanic phenomena, began to diverge.

The meridional portion is a prolongation of the Peruvian Andes; and it would, therefore, continue linked to the subduction of the Nazca base of the South American plate, with more or less continuous compression activity. To the contrary, in the septentrional sector, there seem to be effects from the northeastward movement of the Cocos plate and, probably, from the dragging of the continental fragments through shear faults. At any rate, it seems clear that the subduction left off during the middle of the Pliocene, in favor of a period of distension which is continuing even now.

For practical purposes, the geothermal exploration of areas of interest could be restricted to

the septentrional Andean region, where central andesitic volcanism is found with evidence of differentiation.

Despite the fact that the hydrothermal manifestations are not spectacular, they are frequent precisely in this area, for they originate in the areas surrounding volcanos.

1.1. DEFINITION OF PRIORITIES FOR SUCCESSIVE EXPLORATION

Priorities for the areas selected as potentially interesting, from the geothermal point of view of high enthalpy, can be tentatively defined on the basis of the following parameters:

- a) Location of the area within a region affected by recent volcanic phenomena, which converts it into a potential site for a regional anomaly of heat flow.
- b) Intensity, frequency, volume, and age of the volcanism within each area; the presence or absence of magmatic products originally evolved by surface fracturing.
- c) General hydrogeological conditions, particularly with respect to the presence of recharge areas with possibilities for feeding the aquifers of the volcanic substratum.
- d) Chemical elements and characteristics of the thermal manifestations; preliminary geothermometric results, and the assessment of the heat-salinity ratio. A synthetic evaluation from this point of view and with the results obtained from the reconnaissance study, the grouping of the selected areas in two subdivisions of different geothermal interest. (See Figure 1)

Group A

This is the priority category, where all of the geovolcanological and hydrochemical conditions

favorable to the presence of geothermal systems are found. From north to south, the following areas fall into this category: Tufiño, Imbabura-Cayambe, and Chalupas.

Group B

This category includes areas that present interesting, but incomplete, geothermal evidence, in comparison with Group A. The areas of Ilaló, Chimborazo, and Cuenca are in this category.

In view of the results of the reconnaissance study and the analysis of complementary information obtained by INECCEL, the Tufiño area has been given top priority for the continuation of geothermal exploration.

2. PRINCIPAL VOLCANOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE TUFÍÑO AREA

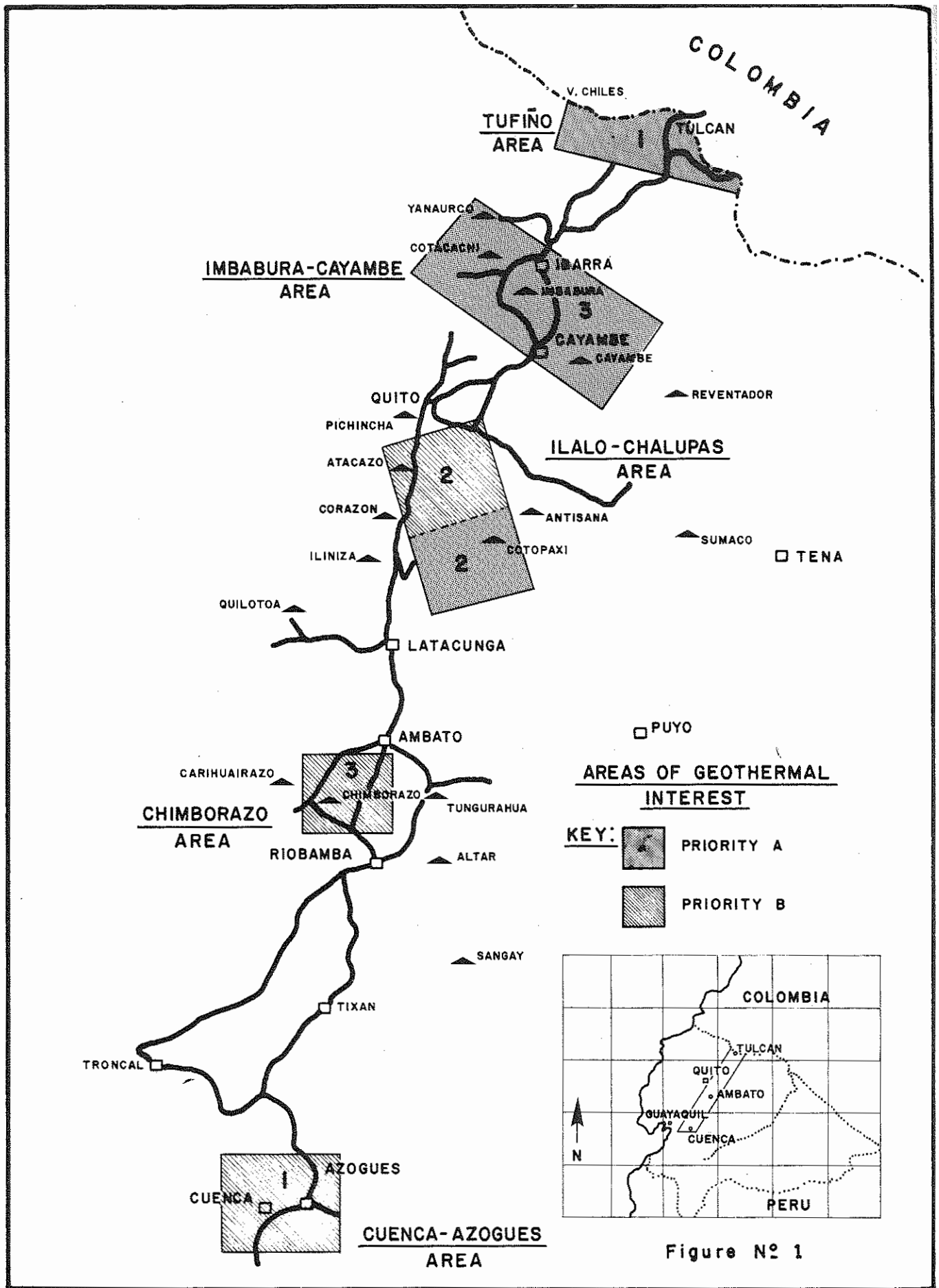
(Figure 2)

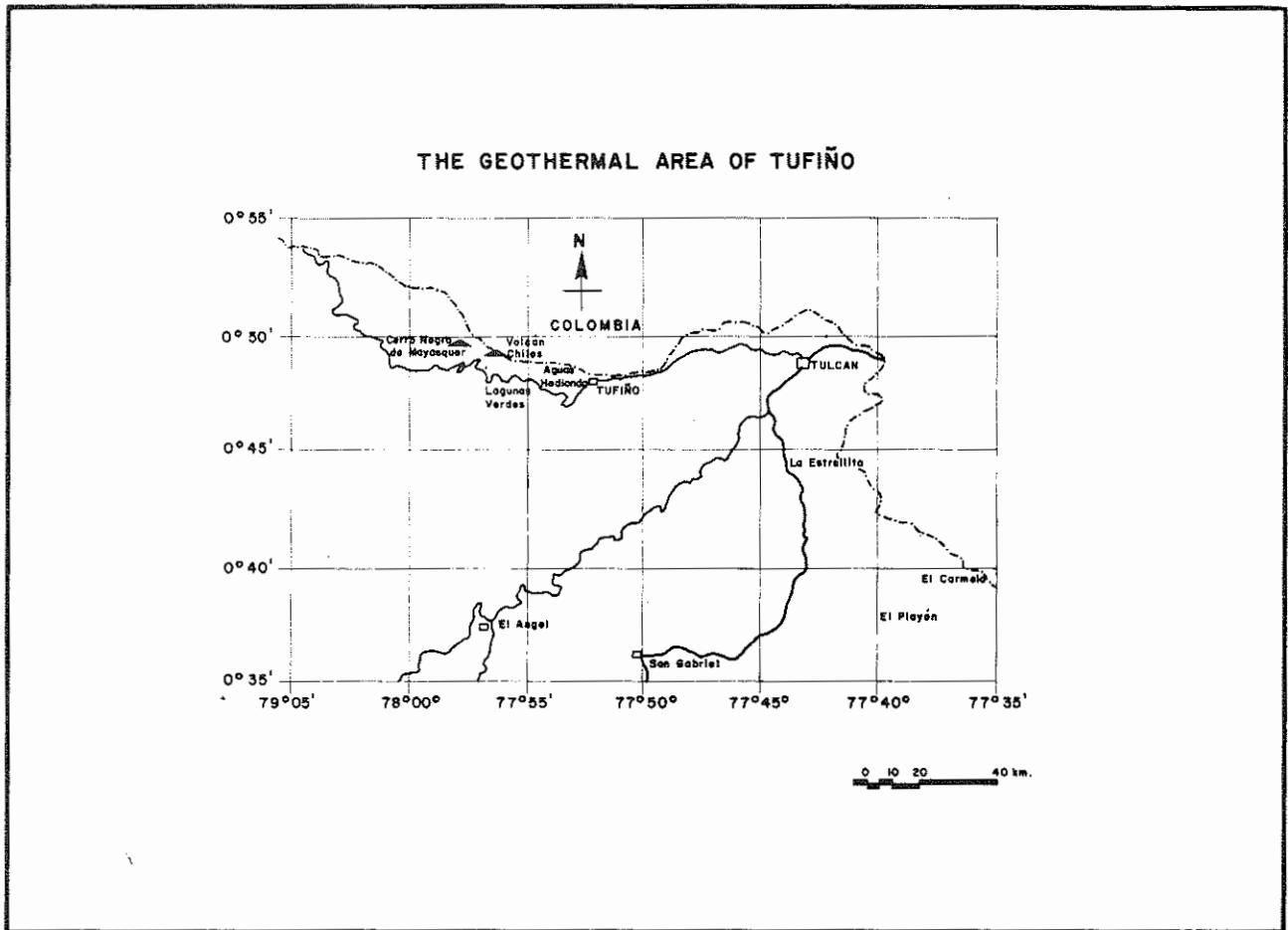
The area is comprised by a strip 10-15 km. wide, parallel to the Colombian border. Two volcanos, Cerro Negro de Mayasquer and Chiles, are located on one same fracture, with an E-W orientation, and with centers of emission at its intersection with fractures having a N-S orientation.

The two structures are quite recent (Chiles 0.16 m.y.) and they have evolved structurally as well as petrologically. The composition of the erupted products ranges between basalts and rhyodacites, thus affirming the existence of stationary magma.

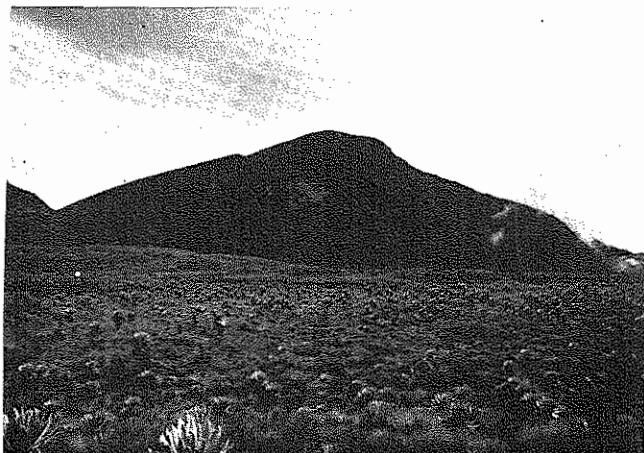
A maar-type crater is found on the meridional side of the Chiles Volcano, as are traces of intense fumarolichydrothermal activity, which intensely affects the pre-caldera products.

The thermal activity persists and is manifested in the heat sources (50°C), by the emission of gases rich in CO₂ and H₂S present in the Aguas Hediondas and Lagunas Verdes sites.



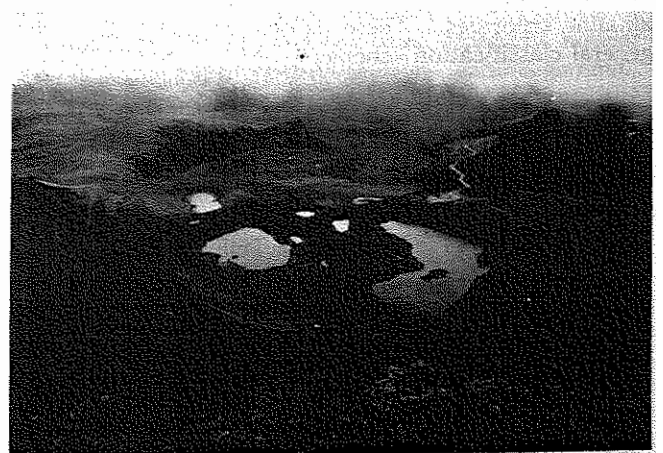


Negro de Mayasquer Volcano, 4460 meters above sea level. Until recently, fumarolic activity was present inside its crater, from which sulfur was extracted two decades ago.



Lagunas Verdes, 3.900 meters above sea level, an extensive freatic explosion crater with a diameter of approximately 500 m., located on the southern flank of the Chiles volcano. This type of crater is formed by the explosion of shallow aquifers when the water is heated until being converted into steam, which overcomes the pressure of rocks that cover the exploded aquifer to form a crater.

In this site, sulfur was once extracted. The heat originating in the Chiles Volcano produced this crater.



The recent volcanism continues farther to the north: in Colombia, with the large active volcano Cumbal and with other active stratovolcanos (Galeras, Doña Juana, etc.).

The circulation model for the underground water in this area can be schematized as follows:

- Recharge in the area of the Chiles volcano-Tufiño-Cerro Negro-El Angel (400 mm annually).
- In the area of Machines-El Angel, there is recharge with an average of 50 mm.
- A third contribution, out of the East, i.e., from La Estrellita and El Playón, has not been quantified as yet, but at any rate it is considered the least important.

All of these areas have been found to be hydraulically continuous (without separation by impermeable walls). However, the changes in permeability should be considered, for these would cause the infiltration volume to vary from zone to zone.

In this area, waters with different chemical types are found, ranging among sulfurous alkalines terreous-alkalines; bicarbonate- alkaline terreous; low and medium alkalines; high-salinity sulfates; bicarbonates-alkaline chlorides. These cannot be included in the general classification scheme.

Interesting temperatures have been estimated applying geothermometers ($T = 250^{\circ}\text{C}$ with an Na/K geothermometer).

3. CURRENT STATUS OF THE STUDIES

The studies inherent to the pre-feasibility stage obviously require a financial effort which, for different reasons, has not been forthcoming; however, mainly in view of the fact that INECEL has already formed a work group for geothermal projects, it has been decided to sub-divide the pre-feasibility studies, without leaving aside the OLADE methodology.

It is foreseen to have a first phase composed of the geoscientific studies related to volcanology, hydrogeology, and geochemistry; these will permit the optimization of the sub-surface research programs which will be undertaken later, once the financial problem has been defined.

For the execution of the first phase of the pre-feasibility studies for the Tufiño project, a technical cooperation agreement has been implemented between INECEL and OLADE. It was signed on May 29 of this year.

It is thought to complete the geovolcanological, hydrogeological, and geochemical studies within an 8-month period, using INECEL's own staff, and with technical assistance from OLADE and extra-regional experts contracted for that purpose.

REFERENCES

OLADE (1980). Project of Geothermal Investigations in the Republic of Ecuador. Final Report.

INECEL (1979). Preliminary Geological Study in the Tufiño Area-Carchi.

INECEL (1979). Preliminary Hydrochemical Study of the Tufiño Area-Carchi.