



DIRECCION DE PLANIFICACION ELECTRICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

# BOLETIN DEL OBSERVATORIO VULCANOLOGICO DEL ARENAL



**ISSN 1015-4396**

**Volcàn Arenal y Embalse de Arenal. Fotografía procedente de los archivos del ICE.**

I

OBSERVATORIO VULCANOLOGICO ARENAL (O.V.A.) \*  
Sección de Sismología e Ing. Sísmica  
Dpto. de Geología  
Instituto Costarricense de Electricidad  
Apdo. 10032 - SAN JOSE, COSTA RICA

Teléfonos:

(506) 20-7468  
(506) 20-7741

Telex: (376) 2140

Fax : (506) 33-38-71

El Observatorio Vulcanológico Arenal (OVA) es parte de la Sección de Sismología e Ing. Sísmica del Dpto. de Geología del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), la cual conjuntamente con la Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica de la Escuela Centroamericana de Geología constituyen la RED SISMOLOGICA NACIONAL (RSN:ICE-UCR).

Coordinador: Geól. Guillermo Alvarado

Personal profesional del ICE:

- Geól. Guillermo Alvarado, Petrología y Tectónica
- Geól. Rafael Barquero, Sismología
- Ing. Carlos Cordero, Topografía.
- Geól. Carlos Leandro, Gravimetría y Magnetometría
- Ing. José Miguel Barrantes, Electrónica
- Lic. José Francisco Fernández, Químico
- Ing. Samuel Argueta, Topografía

Personal técnico y de apoyo:

- Milton Corrales
- Guido Calvo
- Francisco Arias

\* Miembro de la World Organization of Volcano Observatories (WOVO).

## II

Equipo y técnicas de auscultación:

Estaciones sismográficas telemétricas permanentes:

Estación	Código	Lat.	Long.	Elevac.	Dist. Volcán
FORTUNA	FDR	10 28.00'	84 41.52'	500 m	04.0 Km al E
CHIRIPA	AR6	10 26.38'	84 54.63'	1020 m	22.2 Km al W

Estaciones sismográficas portátiles MQ-800, seis.

Red de nueve inclinómetros secos instalados en forma radial alrededor del volcán.

Laboratorio Químico.

Distanciómetro electrónico (EDM).

Red de diez estaciones para muestreo Geoquímico de fuentes termales y frías.

Red de hitos para medidas gravimétricas y otras técnicas geofísicas.

Periódicamente se realizan visitas de observación para conocer la dinámica del volcán y detectar cualquier situación anormal.

III

OBSERVATORIO VULCANOLOGICO ARENAL (O.V.A.) \*  
Sección de Sismología e Ing. Sísmica  
Dpto. de Geología  
Instituto Costarricense de Electricidad  
Apdo. 10032 - SAN JOSE, COSTA RICA

Telephones:

(506) 20-7468  
(506) 20-7741

Telex: (376) 2140

Fax : (506) 33-38-71

The Observatorio Vulcanológico Arenal (OVA) is part of the Section of Seismology and Seismic Eng. of the Dept. of Geology of the Costa Rican Institute of Electricity which, together with the Section of Seismology, Volcanology and Geophysic Exploration of the Centroamerican School of Geology constitutes the National SISMOLOGICAL NETWORK (RSN:ICE-UCR).

Coordinator: Geól. Guillermo Alvarado

Profesional staff of ICE:

- Geol. Guillermo Alvarado, Petrology and Tectonics
- Geol. Rafael Barquero, Seismology
- Geol. Ileana Boschini, Seismology
- Eng. Carlos Cordero, Topography.
- Geól. Carlos Leandro, Gravimetry and Magnetometry
- Eng. José Miguel Barrantes, Electronics
- Lic. José Francisco Fernández, Chemistry
- Eng. Samuel Arqueta, Topography

Technical and auxiliary staff:

- Milton Corrales
- Guido Calvo
- Francisco Arias

\* Member of the World Organization of Volcano Observatories (WOVO)

IV

Equipment and monitoring technics.

Permanent telemetric seismographic stations.

Station	Code	Lat.	Long.	Elevat.	Dist.	Volcano
FORTUNA	FDR	10 28.00'	84 41.52'	500 m	04.0 Km	E
CHIRIPA	ARE	10 26.38'	84 54.63'	1020 m	22.2 Km	W

Portable seismographic stations MQ-800, six.

Nine dry-tilt stations located radially around the volcano.  
Chemistry laboratory.

Electronic Distance Meter (EDM).

Ten station network for Geochemical monitoring of cool and hot springs.

Stations for gravimetric and magnetometric measurements.

Field observations are carried out periodically in order to know about the volcano dynamics and to detect any abnormal phenomena.

## INDICE

ARTICULOS	Pág.
Alvarado, Guillermo	
Quince años de estudios sismológicos y vulcanológicos en el ICE	01
Fifteen years of seismological and volcanological research at I C E	03
Barquero, Rafael	
Resumen de la actividad del volcán Arenal Período Enero-Diciembre 1989	05
Barquero, Rafael & Alvarado, Guillermo	
Volcanoes of Costa Rica	07
Barquero, Rafael & Alvarado, Guillermo	
Los ensambres de temblores en el arco volcánico de Costa Rica	19

QUINCE AÑOS DE ESTUDIOS SISMOLÓGICOS Y  
VULCANOLÓGICOS EN EL ICE

Geol. Guillermo Alvarado

En mayo de 1929 el Departamento de Geología del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), a través de la Sección de Sismología e Ingeniería Sísmica, cumplió 15 años de haber iniciado los estudios sismológicos y vulcanológicos en forma sistemática en Costa Rica. Estos estudios se iniciaron en la región donde se construiría el Complejo Hidroeléctrico Arenal-Corobici, con ello se instaló la primera red sísmica telemétrica en Costa Rica (Red de Arenal) con un centro de registro único ubicado cerca de la ciudad de Tilarán, al Noroeste del país, que permitió establecer por primera vez el régimen sísmico de la región, definición de la fuente sísmica que originó el terremoto de Tilarán de 1973 y además se desarrolló el modelo de corteza para la región Noroeste de Costa Rica, que es actualmente utilizado para el procesamiento de los temblores del país. Además, se auscultó la actividad volcánica del Arenal, todo con el fin de conocer el marco sísmo-volcánico del futuro embalse de Arenal que aporta actualmente más de 50 % de la energía eléctrica al país.

Así, en vista de que el ICE es el ente gubernamental encargado del desarrollo eléctrico en Costa Rica, lo anterior fue la base para posteriores estudios sismológicos y vulcanológicos con énfasis en la evaluación de los riesgos geológicos de diversos proyectos como por ejemplo Sandiilal, Savegre, Palomo, Siquirres, Toro, Guayabo, Boruca, Geotérmico Miravalles, etc.

Todo esto ha llevado a la acumulación de valiosa información, a la paulatina formación de profesionales y a la divulgación de los estudios en el ámbito científico nacional e internacional. Hoy día se cuenta con una red de estaciones sismográficas que conjuntamente con la Escuela de Geología de la Universidad de Costa Rica conforman la Red Sismológica Nacional. Adicionalmente, se cuenta con equipo sismológico portátil para la auscultación de los proyectos prioritarios, también con una red de acelerógrafos y el Observatorio Vulcanológico del Arenal (OVA), todo en pro del desarrollo del país y del avance científico.

Paralelamente se ha contado con la colaboración de científicos a nivel nacional e internacional tales como Tosimatu Matumoto (Univ. of Texas), Andrea Borgia (Jet Propulsion Lab), Susan



Krantley (Penn State Univ ), William Melson (Smithsonian Inst ), Michael Carr (Rutgers Univ ), Lautaro Ponce (UNAM, Mexico), Pierre Yves Gillot (Laboratoire Potassium-Argon, Francia), Jean Turnon (Univ Pierre-Marie Curie, Francia), Sergio Chiesa (Univ Milano, Italia), Walter Montero y Luis E. Morales (Univ de Costa Rica), Setumi Miyamura (Building Research Inst , Japon) y muchos otros colegas y compañeros más, a quienes deseamos plamar nuestro agradecimiento

Desde hace varios años se edita un boletín sismológico mensual que se envía a 50 instituciones de 20 países en el mundo, un boletín vulcanológico semestral (OVA) que es distribuido a 70 instituciones y científicos en 25 países y también se edita un boletín informativo a nivel nacional. Además, las diversas actividades del quehacer geocientífico y aplicado de nuestro personal técnico-profesional están plasmados en más de 30 publicaciones y resúmenes en revistas nacionales e internacionales, en más de 40 informes internos, y en conferencias dictadas en países tales como Estados Unidos, México, Colombia, Inglaterra, Italia, Japon y también en Costa Rica

Todo ello ha sido posible gracias a la espontánea colaboración del Departamento de Geología y sus oficinas, de la Dirección de Planificación Eléctrica y entre otros, a cuerpos tales como los laboratorios Químico y Fotográfico, Sección de Topografía, Telefonía Rural y el Departamento de Transportes del ICE.

FIFTEEN YEARS OF SEISMOLOGICAL AND  
VOLCANOLOGICAL RESEARCH AT I C E

Guillermo Alvarado

On May, 1989, the Section of Seismology and Seismic Eng of the Department of Geology of Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) commemorated the 15 th anniversary of seismological and volcanological research in Costa Rica. It started back in 1974 with the first studies for the Arenal-Corobici Hydroelectrical Complex and the installation of the first seismic telemetric network in this country, the Arenal Network, with a recording center in Tilarán. This network made possible to know for the first time, seismicity at the NW region of Costa Rica, definition of the fault which originated the April, 1973 Tilarán earthquake, also a seismic crustal model for the northern part of the country was defined. Furthermore, the Arenal volcano activity was monitored by several stations in order to know the seimo-volcanic setting for the future Arenal reservoir which at the present time affords more than 50 % of the electric power in the country. This project was the begining of further seismological and volcanological research in order to study and evaluate vulnerability and geologic risk for many other projects (Sandillal, Savegre, Palomo, Siquirres, Toro, Guayabo, Boruca, Miravalles, etc.)

All this research has permitted the accumulation of valuable information, the professional formation of people and publication of scientific works at national and international levels.

At the present time, the School of Geology (University of Costa Rica), together with the Department of Geology of ICE operate the 14 station National Seismic Network (RSN). Additionally, there are several portable seismic equipment (MG 800) for microseismicity research and also a 12 station network of strong motion instruments (SMA 1).

We have also counts with the assistance of local and foreign scientists such as Tosimatu Matumoto (Univ. of Texas), Andrea Borgia (Jet propulsion Lab, USA), Susan Grantlay (Penn State Univ.) William Melson (Sthmsonian Inst., Wash D.C.), Michael Carr (Rutgers Univ.), Lautaro Ponce (UNAN, Mexico), Pierre Yves Gillot (Laboratoire Potassium-Argon, France), Jean Tournon (Piere Marie Curie Univ., France), Sergio Chiesa (Univ. of Milano, Italy), Setumi Miyamura (Building Research Inst., Japan), Walter Montero and Luis D. Morales (Univ. of Costa Rica). To all of them we want to express our deep appreciation.

At the present time, a monthly Seismological Bulletin is edited and sent to more than 50 scientific institutions in 20 countries around the world, also the Arenal volcanological Observatoty Bulletin (OVA) is sent to 70 institutions and

scientists in 25 countries. The different activities of the applied geoscientific work carried out by our professional and technical staff can be found in more than 30 publications and abstracts in national and international magazines and bulletins, more than 40 interim reports and in conferences in several countries (USA, México, Colombia, England, Italy, Japan).

The fulfillment of these goals has been possible thanks to the cooperation of the Electric Planning Direction and Department of Geology of ICE and other branches such as Chemistry Lab, Fotographic Lab, Topography Section, Telecommunications and Transport Department

RESUMEN DE LA ACTIVIDAD DEL VOLCAN ARENAL  
PERIODO ENERO - DICIEMBRE 1989

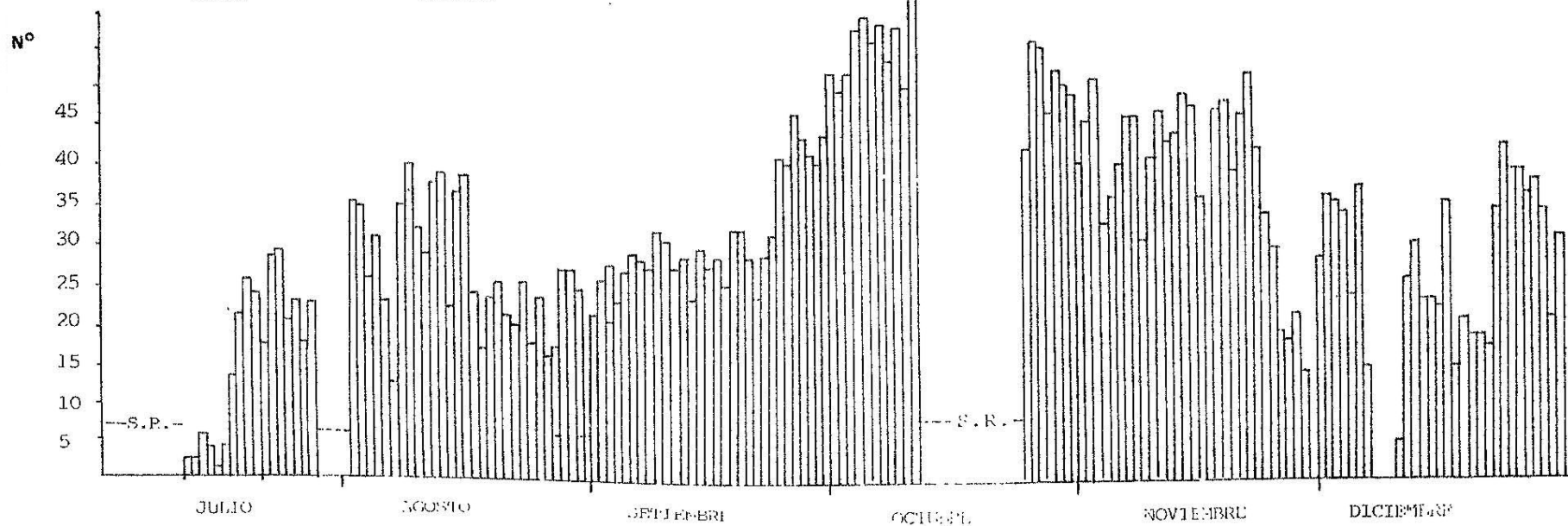
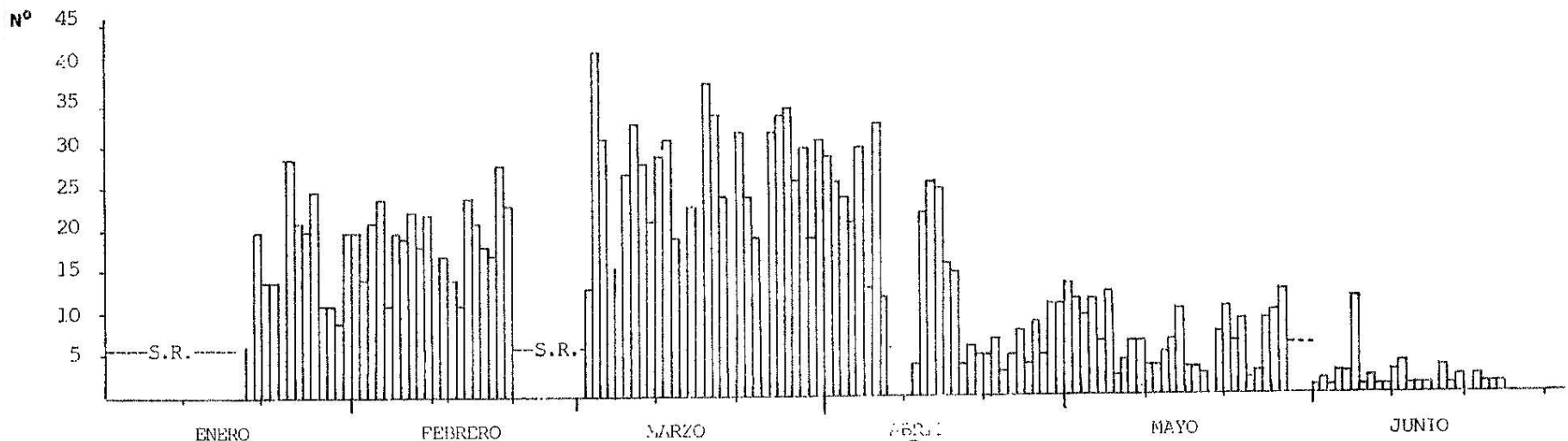
Rafael Barquero

Durante los primeros meses del año la actividad se mantuvo a un nivel normal. Mostró un ligero incremento en la actividad estromboliana en marzo (un máximo de 42 sismos volcánicos por día), y decreció hasta un mínimo en junio (un promedio de 3 eventos diarios). A partir de julio se presenta un nuevo incremento de la desgasificación, a la que se asocian ruidos muy característicos (similares a soplidos) y también un aumento en el registro de trémores en la estación sismológica FOR de la Red Sismológica Nacional, localizada a 4 Km al este del cráter. A partir de agosto, la actividad aumenta un poco más, y en setiembre alcanza un pico de hasta 64 sismos volcánicos diarios, y un promedio de 45 por día en octubre. En noviembre el volcán continúa bastante activo, con un promedio de 40 sismos volcánicos diarios y un máximo de 52 el día 21 de noviembre. Paralelamente, la actividad de trémores fue bastante importante durante el mes.

En observaciones de campo realizadas durante el mes de noviembre, se observó una actividad explosiva estromboliana con un VEI (= 1, con columnas eruptivas de 1 a 1.5 Km de altura, cuya ceniza era arrastrada por el viento hacia el oeste (Laguna de Arenal y en ocasiones hasta Tilarán). Se observó el descenso de coladas de lava en bloques por los flancos nordeste y suroeste del aparato volcánico. Las mediciones realizadas en el sector del río Tabacón indican que los bloques que se despegan del frente de las coladas, descienden hasta la cota de 750 m desde el cráter C activo (aprox. a 1300 m s n m.)

Durante el mes de diciembre, el volcán mostro un ligero descenso en su actividad respecto a los meses precedentes (octubre y noviembre) en los que se registró la máxima actividad del año 1989. En este mes, el máximo número de sismos volcánicos registrados en la estación FOR fue de 42, con un promedio de 20 eventos sísmicos diarios. La actividad de trémores fue también menor.

**NUMERO DE SISMS VOLCANICOS DIARIOS**  
**ESTACION "FOR" VOLCAN ARENAL**  
**1989**



S.R. : Sin Registro.

## VOLCANOES OF COSTA RICA

Rafael Barquero  
Guillermo Alvarado

### Introduction

More than 200 volcanic focus of central emission have been identified in Costa Rica (craters, calderas, cones, necks), they represent only the latest (last 2 million years) manifestations of a long chain of volcanic episodes since the last 65 million years (Fig. 1).

From these volcanoes, only Rincón de la Vieja, Arenal, Poás, Irazú and Turrialba have shown periods of eruptive activity in the last 4 centuries. However, other 15 cones show morphological features or residual activity which suggest that they had activity during the Holocene (Alvarado, 1984)

The number of deaths due to volcanic causes slightly exceeds the hundred but the losses in agriculture and infrastructure are important.

Petrographically, Rincón de La Vieja and Miravalles lava is alike, the silica content fluctuates between 55.12 % and 62.79 %, while in the rest of the volcanoes of the Guanacaste mountain range the SiO<sub>2</sub> ratio varies within a wider range (Drosi 49.9-61.77 %, Tenorio 52.01 - 58.77 %). K<sub>2</sub>O ratio at Rincón de la Vieja and Miravalles is a little higher (from 1.10 to 2.47 %) while in the rest of the volcanoes is less (Alvarado, 1985)

Arenal and Chato volcanoes rocks belong mainly to the basaltic andesites with some andesites, rich to poor in alumina and very poor in potassium 0.6% average (Malavessi, 1979, Kussmaul et al., 1982, Sorgia et al., 1988)

Chemical composition of Barva, Irazú and Turrialba is very similar and belong to the calcalkaline rocks with tendency toward slightly alkaline. They are different from rocks of volcanoes Poás, Platanar, Congo and Hule (Kussmaul et al., 1982, Tournon, 1980, 1983, 1984; Alvarado, 1984, 1985; Paniagua, 1984, 1985)

### RINCON DE LA VIEJA

This volcano, located 24 Km NNE of Liberia city (Lat. 10° 50' N, Long 85° 21' W) is a volcanic massif (400 Km<sup>2</sup>) of complex evolution, composed now by nine volcanic focus very well defined. Its lava is mainly andesite and some basaltic andesites normal in potassium (Alvarado, 1984, Tournon, 1984)

The historic activity of Rincon de la Vieja goes back to 1851, when "smoke" emissions were reported, also there are reports of ash, mud and gas eruptions in 1860, 1863, 1912, 1966, 1967, 1969 and 1987 (Mooser et al, 1958, Salguero, 1976, Boza 1984, Alvarado, 1984)

In 1983, eruptions on Feb 6 and 21 affected a small area 2 Km south and east from the active crater, it involved one or more blasts of water. Suspended ejecta, ranging from mud, ash and lapilli, to more massive blocks deposited on the crater flanks, more spectacular effects included uprooting and blowdown of trees in the gully below the eastern crater rim. This eruption has been interpreted as a direct steamblast phreatic eruption of altered volcanic rocks and water and suspended sediments from the crater lake (Thorpe et al, 1985)

Another eruption took place in march 1984, it was more extense and diverse in character than the one of 1983, with wind-dispersed, wet pyroclastic airfall over an area of 4 Km<sup>2</sup>, massive blocks were erupted directly to the South and SE of the active crater and mud flows 10 to 15 Km long were generated in rivers draining to the north of the volcano. This eruption had a larger volume than that of 1983, including recent crystalized blocks of juvenile magma. This suggests the possibility of an uprising or a reactivated magma column beneath the crater (Thorpe et al., 1985)

#### MIRAVALLLES

The Miravalles volcano is located 15 km N from the town of Bagaces (Lat 10° 47' N, Long 85° 10' W). It's a complex stratovolcano (160 Km<sup>2</sup>) which rises up to 2028 m above sea level. The volcano massif was built after the formation of Guayabo caldera (aprox 15 Km radius) half a million years ago. Miravalles was, in the same way, built through several collapse and rebuild phases (3 at least). Six eruptive focus aligned NE-SW can be recognized on the summit, showing clear SW migration. This volcano does not have eruptive activity in historic times, it only has residual activity in "Las Hornillas" fumaroles. Its lava is andesitic to basaltic andesitic, normal in potassium (Alvarado, 1984)

At the south and SW flanks of the volcano ICE is developing the "Miravalles Geothermal Project" which will start production by 1991 with a first 55 MW unit. The proved area is 8 Km<sup>2</sup> of water dominant reservoir with a temperature of 240 °C. The plant will be a single flash and residual water will be reinjected. At the present time 8 deep wells have been drilled with depths between 272 and 2269 meters and a total of 13712 m has been drilled within the caldera.

## ARENAL

Arenal is a small stratovolcano (33 km<sup>3</sup>), 1633 m high. Before 1968 it had only one summit crater 80 m of diameter and 50 m depth. Its location is Lat 10°27' N Long 84°42' W.

According to several reports Arenal had fumarolic activity during 1937 and 1963. In 1965, when ICE was carrying out studies for the Arenal Hydroelectrical Project (6.5 Km WNW from the volcano), a surveyor reported a new fumarolic activity near the volcano and water level changes at the small lagoon on its northern flank. In 1967 there are other reports of important temperature increase at the Tabacón river. In 1968 earthquake swarms started near the volcano and in July 29, 1968 (14 20 GMT) eruptions started. The first explosions originated 3 aligned craters on the west flank of the cone. Initial explosions consisted mainly of lithic debris derived from a rigid plug in the conduit. Ejecta from inclined blasts falling as far away as 5 Km created a wide field of closely spaced impact pits, some up to 60 m diameter. Following the phreatic explosions showers of scoria produced glowing avalanches followed by long continuous flows of andesitic lava. Seventy people killed, several small towns destroyed and cattle and agricultural losses were the results of this eruptive period at Arenal.

A second explosive phase, smaller than 1968, took place in June 1975. It was preceded by smooth rhythmic explosions, days before; in June 17, four strong explosions generated great ash emission reaching 26 Km far and 3 hot avalanches channeled through the Tabacón river. (Matumoto, T. & Umaña, J. 1976; Van der Bilt et al., 1976)

The 1976-1976 period was characterized by effusive activity of block lava flows.

Between the end of May and the beginning of June 1984, Arenal changed the pattern of activity, from a predominant effusive phase since 1976 to a new strong explosive phase. The strongest seismic activity of this phase occurred between June 3 and June 15, 1984, from this date on there was a gradual decline of the activity and it was replaced by a periodic eruptive cycle.

On 1985 activity was relatively normal with a small increment in October and November. An average of 3 daily explosions and gas-ash emissions were reported during this period.

At the present time strombolian and an effusive phase is going on.



## POAS

Poas is a complex stratovolcano (300 km<sup>2</sup>) of irregular subconical shape, with smooth slopes to the south and sharp ones to the north. It is located Lat. 10°11' N, Long. 84°13' W, at 2708 m above sea level. There are several eruption focus on the summit whose formation was after collapse of 3 caldera structures, only the main crater has shown eruptive activity in historic times, this crater is semicircular, with a 1350 m diameter in the N-S axis and a depth of more than 300 m. Approximately toward the central part of the crater there is a hot lagoon (30-70 °C) with 300 m diameter and a recent dome originated between 1953 and 1955 (Raccichini & Bennet, 1977).

This volcano has kept a regular activity in the last two centuries. The strongest historical eruption registered was a freatomagmatic explosion in Jan 25, 1910 (22 45 GMT). The mud, gas, block and ash column was aprox. 4000 m high, spreading to the sides and up and reaching an altitude of 800 m. The ash volume was estimated in 800.000 cubic meters and its weight in 640.000 tons. (Rudin et al., 1910).

A strong period of freatomagmatic activity was recorded between 1952 and 1954, since then and until 1979 freatic and freatomagmatic eruptions and seismic activity has been registered (Raccichini & Bennet, 1977; Casertano et al. 1983).

To the end of 1980 and until 1981 the dome's northern flank showed high temperatures. The temperature rose from 100°C (Dec. 1980) up to 500 °C (Feb 1981) and 960-1020 °C (March, 1981), it continued high until Nov 1981 and started a gradual decline down to 860°C in Feb 1982 and 700°C at the end of that year. It is highly probable that the July 1980 seismic crisis fractured the upper cap of a magmatic mass cooling inside the volcanic conduits. Therefore, a bigger amount of freatic water opened its way into the magma body and got hot, then it run to the surface together with magmatic fluids which rose slowly, reaching the surface five months later. This interpretation justifies also the absence of explosive activity during a long time (1980 to present). Without doubt the July 1980 fractures prevented the accumulation of energy and discharged it through the fumaroles. The hot spot did not dried out all the hot water lagoon, but it increased the gas volume and the volcanic earthquakes (B type and tremor) (Casertano et al., 1983).

Petrographically Poas lava has been classified as basaltic andesites up to dacites, poor to rich in potassium with anomalous characteristics for an adesitic volcanism, such as the fusiform and cylindrical bombs, sulphur lapilli, tendence to tholeitic series, high temperature fumaroles and aphyric lava abundandance (Raccichini & Bennet, 1977, Casertano et al., 1983, Alvarado, G. 1984, Paniagua, S. 1984, Tournon, 1984).

## IRAZU

Irazu volcano is a complex stratovolcano (500 Km<sup>2</sup>) located 14 Km NNE from the city of Cartago (Lat. 09°59' N, Long 82°51' W) at 3432 m over sea level

Petrographically its lava and tephra are basaltic to andesites, rich in potassium (Kussmaul et al, 1982; Alvarado, G, 1985, Tournon, 1983) It has three major craters aligned East-West and a dozen parasitic cones on its flanks

Strong eruptions have been recorded in 1723 and from 1917 to 1921 (Mooser et al., 1958)

The latest activity started in 1962 and was particularly strong in 1963, lasting until 1965. It was characterized by periodic estrombolian explosive ejection of steam, ash, lapilli, blocks and bombs with great variations in explosion intervals and intensity (Murata et al, 1966). At the end of this active period more than 100 Km<sup>2</sup> had been devastated and other 300 Km<sup>2</sup> were severely damaged.

In Dec 1976, Irazu showed seismic activity, the green lagoon at the botton of the central crater disappeared by Feb. 1977 and in March 1977, several small gas and ash eruptions were recorded, also there were some strong fumarolic activity at the north part of the botton of the crater. In May 1978 the crater had weak fumaroles at the botton (Alvarado, 1984)

Since the end of 1984 a yellowish lagoon developes and disappers alternatively and normal fumarolic activity still goes on the NW flank of the volcano

## TURRIALBA

Turrialba is a complex stratovolcano (500 Km<sup>2</sup>), 3340 m high, located 24 Km NE from the city of Turrialba (Lat 10°02' N, Long 85°45' W) It shares its base with Irazu volcano. The Turrialba's upper structure is a cone with several lateral protuberances to the south and east. It shows three well defined craters inside a caldera and many other focus affected by erosion, the lava and tephra consists of basalts to dacites, rich in potassium (Alvarado, G, 1984)

According to chronicles, gas and ash activities were recorded in 1723, 1847, 1853, 1859, 1964 and 1866

At the present time the central and SW craters show normal fumarolic activity

APARATOS Y SISTEMAS VOLCANICOS  
PRINCIPALES DE COSTA RICA

- 1- Cerro El Hacha
- 2- Conjunto Volcán Orosi
- 3- Volcán Rincón de la Vieja
- 4- Cerro Chato
- 5- Cerros Cañas Dulces
- 6- Volcán Miravalles
- 7- Volcán Tenorio
- 8- Cerro Olla de Carne
- 9- Cerro Jilguero
- 10- Cerro Tilarán
- 11- Cerro Frio
- 12- Cerro San Pedro
- 13- Cerro Chopo
- 14- Cerro Palmira
- 15- Cerro Pan de Azúcar
- 16- Cerro San José
- 17- Cerro Pelado-Delicias
- 18- Cerro Marsella
- 19- Cerro Pelado Herrera
- 20- Cerro San Miguel
- 21- Laguna de Poco Sol
- 22- Cerro Los Perdidos
- 23- Volcán Chato
- 24- Volcán Arenal
- 25- Laguna de Cote

- 26- Cerro La Mina
- 27- Cerros Tinajita, Pelón y Mondongo
- 28- Cerros Macho Chingo y Pelón
- 29- Cerro Espíritu Santo
- 30- Cerros Palmira, Pelón, Siete, Viejo
- 31- Volcán Porvenir
- 32- Volcán Platanar
- 33- Campo de volcanes estrombólicos de Aguas Zarcas
- 34- Conos de Sabana Redonda
- 35- Volcán Poás
- 36- Volcán Congo
- 37- Conjunto Bosque Alegre (Laguna Hule)
- 38- Laguna Río Cuarto
- 39- Volcán Barva
- 40- Volcán Cacho Negro
- 41- Cerros Zurquí
- 42- Volcán Irazú
- 43- Volcán Turrialba
- 44- Cerro Negro
- 45- Cerros de la Cureña
- 46- Lomas de Colorado
- 47- Las Lomas (Azules)
- 48- Volcán Tortuguero
- 49- Cerro Duán
- 50- Cerro Jaboncillo
- 51- Cerro Mano de Tigre
- 52- Cerro Pelón      53- Cerro Bola

## BIBLIOGRAPHY

- Alvarado, G. 1984: Aspectos petrológicos-geológicos de los volcanes y unidades lávicas del Cenozoico Superior de Costa Rica- Tesis de Licenciatura, Escuela C A de Geología, Univ. de Costa Rica
- Borgia, A.; Poore, C., Carr, M J., Melson, W G. & Alvarado, G. 1988: Structural, stratigraphic, and petrological aspects of the Arenal-Chato volcanic system, Costa Rica. Evolution of a young stratovolcanic complex. Bull. Volcanol. 50: 86-105.
- Casertano, L., Borgia, A., Cigolini, C. 1983: El volcán Poás, Costa Rica: Cronología y características de la actividad. Geof. Int. 22-23: 215-236
- Kussmaul, S., Paniagua, S., Gainza, J. 1982: Recopilación, Clasificación e interpretación petroquímica de las rocas ígneas de Costa Rica. Inst. Geograf. Nac., Inf. Semestral Julio-Dic., 28: 17-79, San José
- Malavassi, R. 1979: Geology and petrology of Arenal volcano, Costa Rica. Tesis de maestría, Univ. of Hawaii.
- Melson, W.G. 1982: Alternation between acidic and basic magmas in mayor explosive eruptions of Arenal volcano, Costa Rica. Bol. de Vulcanol., 14: 65-74. Heredia
- Melson, W., Saenz, R. 1963: Volume, energy and cyclicity of Arenal volcano, Costa Rica. Bull. Vulcanol., 37: 416-437
- Melson, W., Saenz, R. 1977: The 1968 eruption of volcán Arenal, Costa Rica. Rev. Geogr. de América Central, 5-6
- Matumoto, T., Umaña, J. 1976: Informe sobre la erupción del volcán Arenal ocurrida el 17 de junio de 1975. Rev. Geogr. 5: 229-315
- Montero, W. 1985: Informe sismología del volcán Arenal, periodo de junio a agosto de 1984. Inf. interno ICE
- Mooser, F., Meyer, A., McBirney, A. 1958: Catalogue of the activity of volcanoes of the world including solfatara fields. Central America Int. Volcanol. Ass., IV: 133-146; Nápoles
- Murata, K.J., Dondoli, C., Saenz, R. 1966: The 1963-65 eruption of Irazú volcano, Costa Rica. Bull. Volcanol., 29: 765-793.
- Paniagua, S. 1985: Características geológicas-petrográficas de los volcanes de la Cordillera Central y sumario de sus actividades. Brenesia, 23: 43-95, San José.

- Radicchini, S., Bennet, F. D. 1977. Nuevos aspectos de las erupciones del volcán Poás. Rev. Geogr. América Central, 5-6:37-53
- Rudin, J., Alfaro, A., Michaud, G., Rudin, A. 1910. Gran erupción de cenizas del volcán Poás. En: C.A. Vargas (ed. 1979):75-88
- Salguero, M. 1976. Volcanes de Costa Rica. Ed. Costa Rica
- Thorpe, Brown, G., Rymer, H., Barrit, S. 1985. Recent volcano monitoring in Costa Rica. Earthquake Inf. Bull., 17, (2):44-49
- Tournon, J. 1972. Presence de basaltes alcalins recents au Costa Rica (Amerique Centrale). Bull. Volc. 36:140-147. Paris.
- Tournon, J. 1980. Contribución a la morfología de la parte occidental de la Cordillera Central de Costa Rica. Inst. Geogr. Nac. Inf. Semestral Julio-Dic. 26:73-83, San José
- Tournon, J. 1983. La cadena volcánica de Costa Rica: composiciones químicas de las lavas, presencia de dos tipos de series- Inst. Geogr. Nac., Inf. Semestral. Julio-Dic. 29:31-62.
- Van der Bilt, H., Paniagua, S., Avila, G. 1976. Informe sobre la actividad del volcán Arenal iniciada el 17 de junio, 1975. Rev. Geof. del Inst. Panamericano de Geogr. e Historia, 5:295-298.

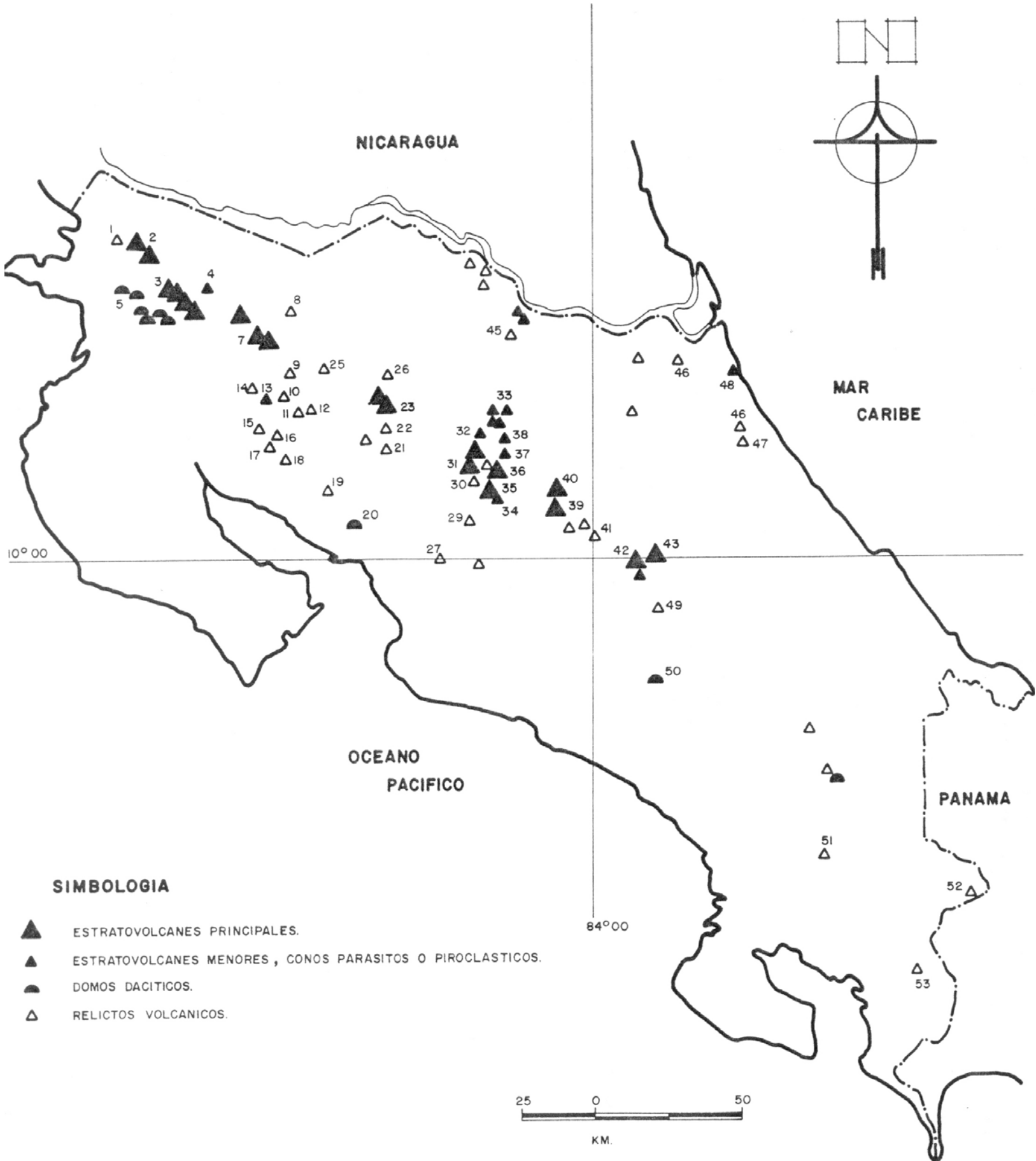
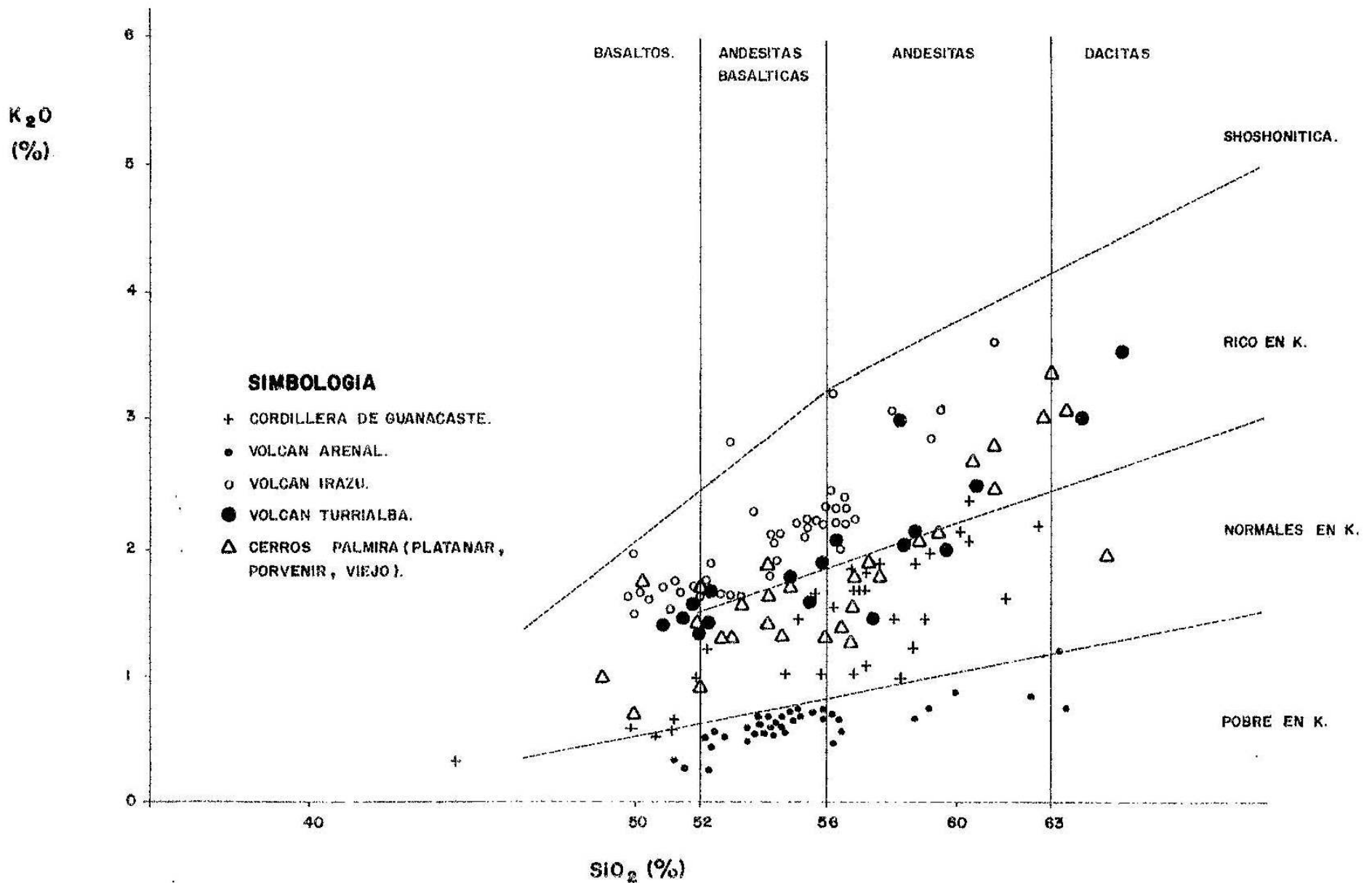


FIGURA N° I

**SISTEMAS VOLCANICOS PRINCIPALES DE COSTA RICA.**



**DIAGRAMA DE VARIACION  $K_2O - SiO_2$  DE LOS VOLCANES ARENAL, IRAZU, TURRIALBA Y LA CORDILLERA DE GUANACASTE.**

(CLASIFICACION DE ROCAS VOLCANICAS SEGUN PECCERILLO & TAYLOR 1976)

**FIGURA N° 2**



LOS ENJAMBRES DE TEMBLORES EN EL ARCO VOLCANICO DE COSTA RICA

Rafael Barquero \*  
Guillermo E Alvarado \*

ABSTRACT

In Costa Rica, seismic swarms are very common, specially in the region of the inner volcanic arc (Central and Guanacaste mountain ranges) characterized by its geodinamically youth. The seismic activity in the cases of seismic swarms is in general of short duration (several days), low to moderate magnitudes ( $M < 4.5$ ) and a restricted mesoseismal area (less than 150 Km<sup>2</sup>). Volcanic and tectonic swarms are recorded. Tectonic swarms occur in heterogeneous zones, with numerous fractures and faults where tectonic stress is gradually liberated, and sometimes hidrogeologic variations act as triggers.

Faults associated with swarms frequently show NE-SW and NW-SE trends related to regional tectonic stress. Volcanic swarms are related directly to magmatic processes within the volcanoes and they can appear together with other physical manifestations (changes in fumarolic activity, gas and hot springs temperatures, crustal deformation, etc).

RESUMEN

En Costa Rica, los enjambres sísmicos son bastante frecuentes, especialmente en la región del Arco Interno (cordillera volcánica de Guanacaste y volcánica Central y áreas vecinas) caracterizadas por ser regiones geodinámicamente jóvenes. La actividad sísmica en el caso de los enjambres de temblores es en general de corta duración (pocos días), de magnitudes bajas a moderadas ( $M < 4.5$ ) y de una área mesosísmica restringida ( $< 150 \text{ Km}^2$ ). Se dan enjambres de origen tectónico y volcánico. Los primeros ocurren en zonas muy heterogéneas, con numerosas fracturas y fallas, en donde los esfuerzos acumulados se liberan en forma generalmente gradual, pudiendo las variaciones hidrogeológicas actuar como mecanismo de disparo. Las fallas asociadas con los enjambres presentan generalmente rumbos NE-SW y NW-SE, y están asociadas a esfuerzos regionales. Los enjambres de origen volcánico se asocian directamente a procesos magmáticos dentro del aparato eruptivo y pueden presentarse junto con otras manifestaciones físicas (cambios en la actividad fumarólica, temperaturas de gases y fuentes termaltes, deformación cortical, etc).

-----  
\* Sección de Sismología e Ing. Sísmica  
Dpto. de Geología  
Instituto Costarricense de Electricidad  
Apdo 10032 - San José, Costa Rica

## INTRODUCCION

Los enjambres sísmicos constituyen un proceso de liberación gradual de esfuerzos por fracturamiento dentro de una área relativamente pequeña, con una secuencia de sismos en la que no hay un evento principal predominante, la magnitud y número de temblores se incrementa gradualmente con el tiempo y luego decrece en la misma forma. Los enjambres son típicos de zonas volcánicas así como de regiones intensamente fracturadas (Mogi, 1966)

El avance de la Sismología en nuestro país durante los últimos años ha permitido la obtención de más y mejores datos en lo respecta a los enjambres sísmicos. El presente trabajo pretende hacer una recopilación de esa información, y tratar de obtener una mejor concepción de este tipo de fenómeno sísmico, definiendo sus características, zonas en donde se producen con mayor frecuencia, sus posibles causas y la definición de eventuales fallas activas cuyos efectos puedan repercutir sobre las poblaciones o proyectos de generación de energía eléctrica que lleva a cabo el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)

## ENJAMBRES DE TEMBLORES

En el arco volcánico de Costa Rica se han reportado unos 12 enjambres de temblores desde 1951, doce de los cuales fueron registrados desde el inicio del periodo instrumental más completo a partir de 1974 (Fig. 1 y tabla 1)

### 1- Enjambres en los alrededores de La Fortuna de San Carlos

i) De acuerdo a un reporte que apareció en el diario La Prensa Libre (20 de setiembre de 1962) durante el año 1951 una crisis sísmica afectó a la región de La Fortuna de San Carlos. Fenómeno que se prolongó por espacio de 31 días. En ese año se supuso primeramente que los temblores eran originados por el volcán Arenal, pero posteriormente, una expedición dirigida por el Sr. Luis Castro comentó que el volcán no presentaba signos de actividad superficial, por lo que se llegó a la suposición de que los sismos eran de origen puramente tectónico.

ii) Del 15 al 22 de setiembre de 1962 nuevamente la zona de La Fortuna de San Carlos fue afectada por un enjambre sísmico. Los primeros temblores se sintieron en La Fortuna el día 15 de

setiembre y continuaron en forma constante, estimándose en 55 el número de eventos sentidos hasta el día 20. Las zonas afectadas fueron La Fortuna, Peñas Blancas, San Isidro y La Palma, no se registraron daños materiales. Según el informe del periódico La Prensa Libre, la actividad sísmica concluyó el día 22 de setiembre y se registraron un total de 65 temblores, de ellos dos tuvieron intensidad (MM) III, cinco tuvieron intensidad II y los restantes intensidad I en la zona. Durante esta crisis se determinó que el volcán Arenal mantenía la misma actividad observada en 1959, consistente de una reducida franja de fumarolas en el borde norte del cráter. Además, se pudo avistar un derrumbe de cierta importancia en el flanco sureste del volcán así como pequeños desprendimientos de rocas en el sector de La Palma. En esta ocasión también se argumentó que la crisis sísmica había tenido origen tectónico (Alvarado & Barquero, 1987).

111) Antes de entrar en actividad el volcán Arenal el 29 de julio de 1968, se observaron algunas manifestaciones sísmicas y volcánicas premonitoras que culminaron con un enjambre de temblores previo a la erupción inicial.

Los fenómenos sísmicos se iniciaron en el mes de mayo de 1968 (Avila, 1978), aumentando considerablemente durante los días 27 y 28 de julio, fecha en la cual los residentes del lugar reportaron haber comenzado a sentir sismos a partir de las 23 Horas (T.L.) prolongándose hasta aproximadamente las 06 horas del día 29. La secuencia de eventos se inició con sismos leves y fue intensificándose gradualmente en magnitud y frecuencia. El número de temblores sentidos por las personas se estimó entre 20 y 100, con magnitudes dentro de un rango de 2 a 4.5, e intensidades máximas de IV a V (MM) en La Fortuna y en La Palma. La ola de sismos cesó repentinamente entre 30 y 120 minutos antes de la erupción inicial. El 29 de julio a las 07:30 horas (T.L.), el Arenal entró en actividad con una explosión tipo Peleano que produjo nubes ardientes las cuales alcanzaron las poblaciones de Tabacón y Pueblo Nuevo, cobrando 78 víctimas (Melson y Sáenz, 1968). Del 26 de agosto al 29 de setiembre de 1968, seis estaciones sismológicas estuvieron funcionando en los alrededores del volcán Arenal, las cuales pudieron registrar varios sismos tipo A y B, los epicentros de los temblores tipo A se localizaron por el costado sureste del volcán Chato y se les estimó una profundidad entre 2 y 8 Km (Minakami et al., 1969).

iv) Durante los meses de enero y febrero de 1975, previo a la fase explosiva del Arenal en junio de ese año, se registró un enjambre de temblores tipo A (Alvarado et al. 1988)

v) Entre los días 11 y 12 de junio de 1984 se registraron algunos temblores de origen posiblemente tectónico en los alrededores de La Fortuna. Estos eventos ocurrieron dentro de un periodo de fuerte actividad explosiva en el Arenal, por lo que Montero (1984) los consideró asociados al Arenal. Sin embargo, la ubicación de los epicentros aunque no es muy confiable, más bien parece indicar una fuente tectónica, al menos parcial.

vi) Un nuevo enjambre de temblores de carácter tectónico, de moderada a baja magnitud, fue registrado por las estaciones de la Red Sismológica Nacional (RSN ICE-UCR) en marzo de 1987 (Fig. 2). La serie de sismos se inició el 7 de marzo, día en que se produjeron los temblores de mayor magnitud, tres de los cuales fueron sentidos en La Fortuna y en el Tanque con intensidades entre II y IV (MM), el mayor de ellos tuvo una magnitud  $M_D=4.2$ . Los epicentros se ubicaron a 15 KM al este de La Fortuna, en el llano aluvial donde se encuentra el poblado de el Tanque. El mecanismo focal elaborado con los datos del evento de magnitud mayor define un fallamiento transcurrente con dos posibles rumbos:  $N 10^\circ E$  o  $N 5^\circ$ , y un buzamiento de  $80^\circ$ . La primera alternativa coincide muy bien con el alineamiento de los epicentros.

## II- Enjambre en la zona del volcán Miravalles

En el periodo comprendido entre el 30 de abril y el 6 de mayo de 1985 la RSN ICE-UCR registró un enjambre de temblores en la región del volcán Miravalles (Fig. 3). Cuatro de los sismos fueron ubicados en la ladera atlántica del aparato volcánico, con magnitudes de 2.4, 2.8, 3.3, 3.3. Los vecinos de Armenia de Upala, población situada a unos 3 Km al norte del Miravalles se alarmaron por los movimientos sísmicos y se informó también de la activación de algunos pequeños deslizamientos en la zona. Se estima que la intensidad máxima en la zona afectada fue entre IV y V (MM), sin embargo, en la zona de Guayabo, distante 20 Km al surcorte del Miravalles, la intensidad máxima se estimó en II (MM).

Anterior a este periodo de actividad ocurrieron dos sismos de magnitudes moderadas en la misma zona, específicamente en el mes de noviembre de 1984. Así mismo, en junio de 1987 se volvió a registrar un temblor de magnitud 4.4 en esa zona, el cual tuvo una intensidad de III (MM) en Upala. El mecanismo focal realizado para este sismo muestra planos nodales de rumbos  $N50^{\circ}W$  y  $N60^{\circ}E$ , y buzamientos de  $70^{\circ}NE$  y  $50^{\circ}SE$  respectivamente.

Del análisis de la actividad sísmica reciente en esta región se concluye que ésta es de origen tectónico y está asociada a una fallamiento normal con componente transcurrente sinistral evidenciado por rasgos morfológicos y por la solución del mecanismo focal y por la distribución de los epicentros.

En la región caribe del Miravalles el escarpe de falla no es tan evidente (unos 50 m de elevación) aunque si se observan ríos desplazados 500 m en sentido dextral, situación contraria a la obtenida por el mecanismo focal. Esta falla está mejor definida en la parte caribe del volcán Rincón de la Vieja, en donde el escarpe supera los 300 m de elevación. Esta importante falla la denominamos "Falla Caño Negro" y constituye una prolongación del graben de Nicaragua.

### III- Enjambres en el volcán Poas.

1) El 27 de julio de 1980, se presentó una crisis sísmica local en el volcán Poas, registrándose un gran número de sismos que se incrementó aún más a partir del 30 de julio, con un promedio de 2 a tres eventos por hora. De acuerdo con la interpretación de Casertano et al (1985), el comienzo repentino de la estación lluviosa en el mes de mayo fue lo que determinó una variación importante en el equilibrio fluodinámico de los acuíferos de la zona, lo cual pudo agravar las condiciones ya críticas desde el punto de vista termo-fluodinámico en el aparato volcánico. Además, considera que la energía liberada por los sismos regionales en julio de 1980 contribuyó a desencadenar los procesos de fracturación. No se observó ningún cambio notable en la actividad del volcán los años siguientes.

11) Del 5 al 11 de febrero de 1982 se registró una serie de temblores que fueron sentidos principalmente en Vara Blanca, y en menor número en Los Cartagos, Poasito, Carrizal, Fraijanes y San Pedro de Poas. La máxima intensidad reportada fue de IV (MM) en la zona de Vara Blanca, Fraijanes y Poasito. La magnitud de estos eventos varió entre 1.1 y 3.3 y su profundidad fluctuó alrededor de los 5 Km (Alvarado et al, 1988).

Por el decaimiento rápido de la actividad sísmica y sus bajas magnitudes esta crisis sísmica puede ser considerada como tipo enjambre. La solución del mecanismo focal compuesto de este enjambre define un fallamiento normal de rumbo N20 W y buzamiento 30 NE, acorde con los esfuerzos tensionales esperados en un macizo volcánico y con los rasgos morfotectónicos de la zona, definiéndose la falla Angel (Alvarado et al., 1988).

iv) Durante el último periodo de actividad del volcán Poás entre 1987-1989 se notó un incremento importante en la actividad microsísmica en los alrededores del cráter principal, estos eventos que sumaban hasta más de 300 diarios durante los primeros meses de 1989, eran temblores de baja frecuencia (tipo B) de magnitudes menores de 2. En ningún momento se presentó actividad sísmica de carácter tectónico relacionada con la actividad volcánica.

#### IV- Enjambres en el macizo del Platanar y áreas vecinas

i) En el mes de abril de 1980 una crisis sísmica muy importante se registró en la zona sureste de Ciudad Quesada, en los alrededores del volcán Platanar (Fig. 4). Dada la importancia de este fenómeno, tanto la Sección de Sismología y Vulcanología de la Escuela de Geología de la Universidad de Costa Rica, como la Sección de Sismología y Vulcanología del ICE, hoy Sección de Sismología e Ing. Sísmica, conjuntamente con la Universidad Nacional, iniciaron una investigación detallada, para lo cual se instalaron dos redes de estaciones sismográficas portátiles en la zona, con las cuales se logró registrar unos 20 sísmos diarios en los primeros días y 4 diarios al final del periodo para un total de por lo menos 120 eventos.

Los sísmos fueron analizados y procesados, lográndose la ubicación de unos 13 epicentros los cuales mostraban un ligero alineamiento N-S, al costado oeste del volcán Platanar. Las profundidades de los focos variaron entre 1 y 10 Km. La magnitud de los temblores varió entre 0.3 y 1.8 y fueron sentidos principalmente en las poblaciones de San Vicente, Finca Pradera, Finca de Pablo Aragonez, Finca de Toño Barrientos, Surtubal y La Altura, con intensidad máxima entre II y III (MM) (Alvarado et al., 1988).

La Sección de Sismología y Vulcanología de la UCR consideró que dado que la actividad sísmica registrada se localizó entre intervalos de profundidad relativamente amplios (1-10Km), y se presentó un decaimiento gradual con el tiempo, además de que no se encontraron evidencias del movimiento de masas a profundidad, la actividad sísmica en el Platanar fue el resultado de la reactivación de una falla tectónica local, lo cual es normal dentro de áreas volcánicas jóvenes.

La Sección de Sismología y Vulcanología del ICE y la UNA en ese entonces, consideraron que la crisis sísmica del volcán Platanar estuvo ligada a fenómenos volcánicos, probablemente asociados a movimientos magmáticos profundos.

Por otra parte, en un análisis efectuado por Casertano et al. (1979) considera que esta crisis sísmica estuvo relacionada con las condiciones hidrogeológicas locales y particularmente, con las variaciones de presión de poro en una capa acuifera profunda.

Mediante la solución del mecanismo focal compuesto realizado se determinó que este enjambre puede estar relacionado a una falla de rumbo  $N8^{\circ}W$  y buzamiento  $50^{\circ}NE$  con una leve componente de rumbo sinistral denominada falla Gata, o bien con una falla de desplazamiento de rumbo  $N90^{\circ}E$ , casi vertical, siendo esta solución menos probable dado el patrón de fracturamiento en la región (Alvarado et al., 1988). Sin embargo, no se descarta tampoco la relación de esta crisis sísmica con los cambios en las condiciones hidrogeológicas en la zona, las cuales pueden haber sido el mecanismo de disparo que activó la falla.

ii) El día 8 de setiembre de 1986 la RSN recibió informes sobre una serie de temblores que se estaban produciendo en la zona de Venecia de San Carlos, por lo que se dispuso montar una red sismográfica portátil en la zona; esta red estuvo funcionando del 12 al 14 de setiembre (Fig. 5)

De los datos registrados por las estaciones, junto con las informaciones recolectadas mediante entrevistas a los vecinos del lugar, se determinó lo siguiente:

- a) Los temblores empezaron el día jueves 4 de setiembre.
- b) La actividad sísmica estuvo principalmente restringida a una pequeña área de unos 22 Km<sup>2</sup>.
- c) Durante el tiempo que estuvo en operación la red sismográfica portátil se logró registrar un total de diez temblores, todos los cuales eran de magnitudes bajas ( $< 2.5$ ) y superficiales, con profundidades inferiores a 5 Km.
- d) Por las condiciones topográficas llanas y geológicas (relleno aluvial y lahárico) de la zona, además por las bajas magnitudes de los sismos, no se produjo ninguna clase de agrietamientos o deslizamientos.
- e) Se descartó cualquier relación de esta actividad sísmica con fenómenos de origen volcánico dado que no se registraron cambios en las temperaturas de aguas las termales en la región y la frecuencia diaria de los sismos fue baja.

Las evidencias fotogeológicas sugieren que la región volcánica de los cerros Palmira posee fallas y fracturas principalmente con orientaciones NNW-SSE y NNE-SSW. Dicho sistema tectónico está cubierto por depósitos aluviales y laháricos en la región de Buenos Aires y Pital. Además, en la zona de Aguas Zarcas existen nueve conos piroclásticos alineados N-S (Alvarado et al., 1986, 1988), lo cual sugiere la existencia de fallas paralelas con dicha orientación que afectan al basamento volcánico y que pueden, en determinado momento, haberse activado por variaciones en las condiciones hidrogeológicas de la zona.

#### V- Enjambres del Volcán Irazú y áreas vecinas:

i) No obstante el volcán Irazú ha tenido actividad en tiempos recientes como por ejemplo el período de 1963-1965, no se tiene registros que indiquen actividad sísmica de importancia previo al inicio de las erupciones, para dicho caso, por ejemplo, solo se mencionan la presencia de retumbos que acompañaban a las explosiones (Murata et al., 1966). Montero & Dewey (1892) mencionan por primera vez la localización de un enjambre de sismos en la zona NE de San José, esta actividad sísmica de origen tectónico y de corta duración se registró durante los días 29 de marzo de 1978, 10 de abril de 1978 y 17-18 de marzo de 1979; la solución del mecanismo focal compuesto para esa zona mostró planos nodales de rumbos  $N44^{\circ}W$  y  $N46^{\circ}E$  y buzamientos de  $45^{\circ}SW$  y  $90^{\circ}$  respectivamente, de acuerdo a dichos autores ese mecanismo sugiere un desplazamiento vertical asociado al desplazamiento de rumbo predominante y se asocia el terremoto de 1952 (Patillos), que causó daños en la zona entre los volcanes Barva e Irazú, a esta zona sísmica

ii) En el año 1982 dos enjambres sísmicos tuvieron lugar en la región de los volcanes Irazú y Turrialba, por lo que La Universidad de Costa Rica, el ICE y la Universidad Nacional iniciaron una investigación y se instalaron estaciones portátiles en la zona. El primer enjambre ocurrió entre los días 4 y 5 de junio, se logró registrar hasta un máximo de veinte eventos por hora. El segundo enjambre dió inicio el 23 de setiembre de ese mismo año y finalizó el día 25 de setiembre; en esta ocasión se registró hasta un máximo de 200 eventos por hora y la magnitud máxima fue de 4.0 (Morales y Montero, 1984). En ambos enjambres se notó un decrecimiento rápido de la actividad con el tiempo



De la solución de mecanismo focal elaborada por Guendel (1985) para los eventos de setiembre, se obtuvo como resultado un fracturamiento de tipo inverso con componente transcurrente sinistral con orientación  $N46^{\circ}E$ , el cual coincide con los agrietamientos observados en el campo y con el alineamiento de focos volcánicos en el volcán Turrialba (Alvarado et al., 1986).

iii) El 22 de agosto de 1987 se registró un nuevo enjambre sísmico en la región NW del volcán Irazú (Fig. 6). La magnitud máxima fue de 3.4, la actividad sísmica se prolongó por dos días. El mecanismo focal del evento principal dió como resultado un fallamiento normal de rumbo  $N60^{\circ}W$  y buzamiento SW que coincide con el alineamiento de los sismos y con una probable falla que corre a lo largo del río Sucio con rumbo NW.

iv) Durante los días 5 y 6 de enero de 1987 las estaciones de la RSN registraron cinco pequeños eventos sísmicos que se localizaron cerca de la ciudad de Cartago (Fig. 7). De estos temblores el de mayor magnitud fue de uno de 2.5, el cual fue sentido con intensidad III en Taras y II en Tres Ríos, Desamparados y San Pedro. Todos los eventos fueron de foco superficial, con profundidades menores a 5 Km. El enjambre fue de carácter tectónico, ocasionado por rupturas local.

#### VI- Enjambre en la zona cercana al volcán Barva:

Durante el mes de noviembre de 1989 vecinos de la zona de Santa Bárbara de Heredia reportaron haber sentido varios temblores de moderada magnitud. Los reportes indican que estos sismos se sintieron en las poblaciones de San Pedro, El Roble, San Bosco, Setillal, Birri y Chagüite de Santa Bárbara. De acuerdo con las informaciones los temblores fueron de magnitud moderada y corta duración; en algunos casos se movieron objetos colcados sobre superficies lisas y también oscilaron objetos colgantes; algunas personas reportan haber sentido vibraciones y escuchado ruidos. La intensidad máxima en la zona mesosísmica fue de III (MM).

El enjambre sísmico se inició el día 7 de noviembre, luego se reanudó el día 18 con una serie de sismos de moderada a baja magnitud. Hasta el día 27 se registraron 17 temblores de los cuales se pudo ubicar adecuadamente 9 eventos (Fig. 8). La distribución de los sismos parece indicar una pequeña falla activa de rumbo NE que se ubica en una zona de lavas de la Formación Barva la cual constituye una zona de alta permeabilidad muy importante en la recarga de acuíferos del norte del Valle Central.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES:

De acuerdo con Mogi (1966) existen tres patrones de secuencias de temblores: El primer tipo se caracteriza por un evento principal sin premonitores, seguido frecuentemente por numerosas réplicas. El segundo tipo es aquel en el que ocurren eventos premonitores antes del temblor principal seguido luego por una serie de réplicas. El tercer tipo que se denomina "enjambre" se caracteriza porque el número y la magnitud de los sismos se incrementa gradualmente con el tiempo y luego tiende a decrecer paulatinamente, sin que ocurra un evento principal predominante.

Estos diferentes patrones de sismicidad están determinados principalmente por la calidad mecánica del medio y por los esfuerzos a que está sometido. Así, los del primer grupo ocurren en medios homogéneos bajo condiciones de esfuerzos uniformes mientras que los del segundo se presenta cuando la estructura o la distribución de los esfuerzos o ambas no es uniforme. El tercer tipo que son los enjambres, ocurren en medios muy heterogéneos sometidos a un esfuerzo concentrado (Mogi, 1966).

La mayoría de los enjambres en Costa Rica han ocurrido en regiones volcánicas y tectónicas jóvenes (cordilleras volcánicas de Guanacaste y Central) o áreas vecinas (Fig. 1), constituidas fundamentalmente por coladas de lava, brechas volcánicas, tobas, ignimbritas, lahares y materiales piroclásticos no consolidados del Cuaternario y rocas sedimentarias del Terciario.

Los enjambres de origen tectónico son los más frecuentes en nuestro país, aunque la mayoría de ellos tienen lugar cerca de zonas volcánicas (Miravalles, Platanar, Poás, Barva, Irazú, etc) no están directamente asociados con fenómenos magmáticos, son de corta duración (entre 2 y 13 días), y las magnitudes por lo general son de bajas a moderadas ( $M < 4.5$ ). El área mesosísmica es relativamente restringida (entre 25 y 250 Km<sup>2</sup>), y la longitud de ruptura, obtenida con base en los epicentros, no es mayor de 15 Km (Cuadro 1).

Existe una relación más o menos directa entre la magnitud máxima, el área mesosísmica y la intensidad máxima.

Las fallas asociadas con enjambres presentan rumbos concordantes con la tectónica regional, la cual es resultado fundamentalmente de esfuerzos relacionados con la interacción de las placas del Coco y del Caribe, y con el levantamiento del arco volcánico. En la región de Guanacaste predominan alineamientos estructurales NW-SE, que coinciden con los obtenidos en el mecanismo focal para el enjambre de la región de Miravalles.

En la región central del país la tectónica reciente es intensa en el extremo norte (conjunto Platanar, Poas, Barva e Irazú-Turrialba), en donde se presentan fallas y estructuras de colapso volcánico-tectónico con patrones conjugados NE-SW y NW-SE, en esta región se han presentado varios enjambres sísmicos importantes (Poas 1980, Vara Blanca 1982, Platanar 1980, Venecia de San Carlos 1987, Irazú 1982 y 1987 y Santa Bárbara 1989)

También se dan en Costa Rica enjambres de origen volcánico como los del volcán Arenal de 1968 y 1975, los cuales están directamente relacionados con procesos dentro del aparato volcánico. Aunque es difícil diferenciarlos de los tectónicos, se presentan otras manifestaciones volcánicas asociadas como por ejemplo, variaciones en la actividad y temperatura de fumarolas y fuentes termales, deformaciones en el cono volcánico y actividad eruptiva asociada.

En los últimos 35 años se han reportado alrededor de 17 enjambres sísmicos en el país, lo que nos indica que este tipo de fenómeno es bastante frecuente en Costa Rica.

Los enjambres se han producido generalmente en zonas volcánicas jóvenes (cordilleras volcánicas de Guanacaste y Central) cuyos rasgos estructurales principales concuerdan con las soluciones de mecanismos focales obtenidas para varios de los enjambres.

Se han podido distinguir tanto enjambres de origen tectónico (Miravalles 1984, Arenal 1962 y 1987, Poas 1980, Vara Blanca 1982, Platanar 1980, Venecia 1987, Irazú 1982, Cartago 1987, Santa Bárbara) como también de origen volcánico (Arenal 1968 y 1975).

En todos los casos los enjambres se han caracterizado por a) corta duración (menos de 15 días), b) magnitudes bajas a moderadas ( $M < 4.5$ ), c) área mesosísmica restringida ( $< 250$  Km).

En Los volcanes Poas e Irazú no se han registrado hasta el presente, enjambres de temblores de carácter tectónico-volcánico premonitores a periodos de fuerte actividad que puedan ser de utilidad para la predicción a corto plazo. Por otra parte, en el volcán Miravalles se ha registrado actividad microsísmica de origen tectónico que no tiene relación directa con fenómenos magmáticos. Únicamente en el volcán Arenal si parece haber relación entre actividad sísmica de tipo tectónico y actividad volcánica.

En general los enjambres en nuestro país no representan mayor peligro para las poblaciones, aunque en ciertas ocasiones pueden presentarse pequeños deslizamientos.

REFERENCIAS

- Alvarado, G.E., Barquero, R. 1987. Las señales sísmicas del volcán Arenal (Costa Rica) y su relación con las fases eruptivas (1968-1986). Rev. Ciencia y Tecnología. II (1). 15-35, San José
- Alvarado, G.E., Barquero, R., Boschini, I., Chiesa, S., Carr, M.J. 1986. Relación entre la neotectónica y el vulcanismo en Costa Rica. Rev. CIAF, II (1-3) 246-264; Bogotá
- Alvarado, G.E., Morales, L.D., Montero, W., Climent, A., Rojas, W. 1988. Aspectos sísmológicos y morfotectónicos en el extremo occidental de la cordillera Volcánica Central de Costa Rica. Rev. Geol. de Am. Central. No. 9. Pag. 75-98
- Avila, G. 1978. Investigación y vigilancia del volcán Arenal, Alajuela, Costa Rica. 40 pags. ICE, Dpto. Geología (Inf. Interno), San José
- Casertano, L., Borgia, A., Cigolini, C., Morales, L.D., Montero, W., Gómez, M., Fernández, J.F. 1985. Investigaciones geofísicas y características geoquímicas de las aguas hidrotermales volcán Poás, Costa Rica. Geof. Int. Vol. 24-2, pags. 315-332.
- Casertano, L., Chaves, R., Borgia, A., Cigolini, C. 1979. La crisis sísmica de abril-mayo 1980 en el área de Ciudad Quesada, Costa Rica. Rev. Geofísica, Inst. Panam. de Geografía e Historia, No. 10-11, México
- Melson, W.G., Sáenz, R. 1968. The 1968 eruption of volcano Arenal: preliminary summary of field and laboratory studies. Smithsonian Center for short-lived phenomena. Report 7-1968. -Trad. española- La erupción del volcán Arenal, Costa Rica en julio de 1968. Rev. Geogr. Amer. Central; 5-6 55-148, Esc. de Geogr. Univ. Nacional, Costa Rica, 1977
- Minakami, T., Utibori, S., Hiraga, S. 1969. The 1968 eruption of volcano Arenal, Alajuela, Costa Rica. 40 pags. ICE, Dpto. Geología (Inf. Interno); San José
- Mogi, K. 1967. Earthquakes and fractures. Tectonophysics, I 35-55
- Montero, W. 1984. Informe sísmológico del volcán Arenal periodo de junio a agosto de 1984. 22 pags. ICE, Dpto. de Geología (Inf. Interno); San José
- Montero, W., Dewey, J.W. 1982. Shallow-focus seismicity, composite focal mechanism and tectonics of the Valle Central of Costa Rica. Bull. of the Seismol. Soc. of Am. Vol. 72, No. 5, pp. 1614-1626

Morales, L.D., Montero, W 1984 Los temblores sentidos en Costa Rica durante 1973-1983 y su relación con la sismicidad del país Rev Geol Am Central, 1. 29-56.

Murata, K.J., C. Dondoli, R Saenz. 1966 The 1963-1965 eruption of Irazú volcano, Costa Rica (The period of March 1963 to October 1964). Bull Volcanol. 29 766-793

ENJAMBRE	FECHA	Mag. max.	Int. max.	Prof. max. (Km)	Area (Km <sup>2</sup> )	Duración (días)	sismos	ruptura (Km)
Miravalles	1985	4.6	V	12.3	200	7	> 4	15
La Fortuna	1962		III		200	8	> 65	
La Fortuna	1987	4.2	IV	10	250	12	> 16	15
Volcán Arenal	1968	4.5	IV	< 2		3	> 100	
Volcán Poas	1980	1.8				~ 5	> 200	
Vara Blanca	1982	3.3	IV	5	50	6		8
Volcán Platana	1980	1.8	III	5	100	~ 13	> 120	15
Venecia, S.C.	1986	2.5	III	5	22	11	> 10	5
<sup>IV</sup> Volcán Irazú	1982(Jun)	2.8		< 4	60	2	> 200	12
<sup>VI</sup> Volcán Irazú	1982(Set)	4.0	VI	< 10	150	2	> 200	12
<sup>III</sup> Cartago	1987	2.5	III	5	50	2	> 7	10
Sta. Bárbara	1989	3.4	III	16	25	10	> 9	10

Tabla 1 : ENJAMBRES SISMICOS EN COSTA RICA

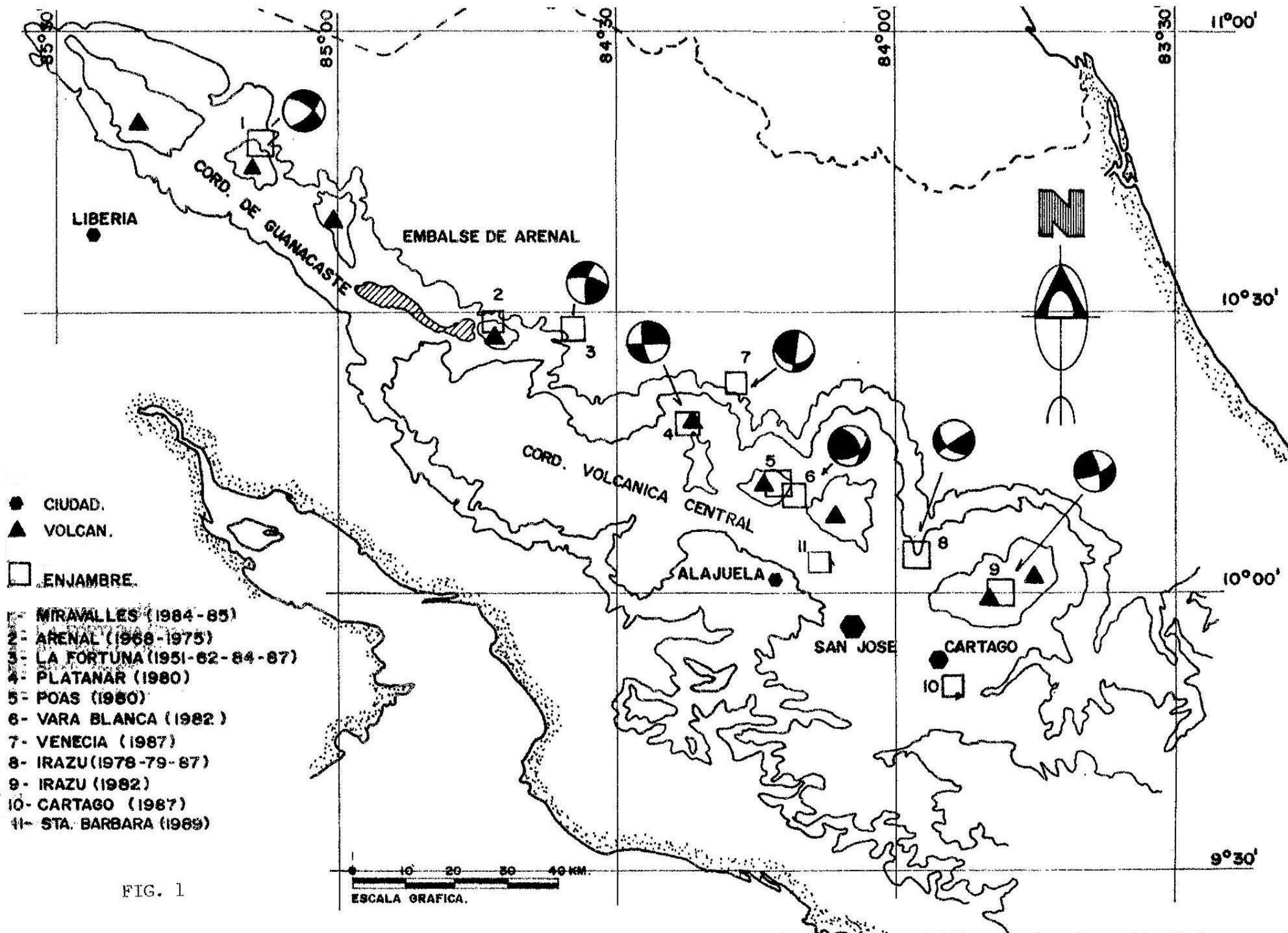


FIG. 1

# DEL ENJAMBRE REGISTRADO DURANTE EL MES DE MARZO DE 1987

RED SISMOLOGICA NACIONAL (RSN, ICE - UCR).

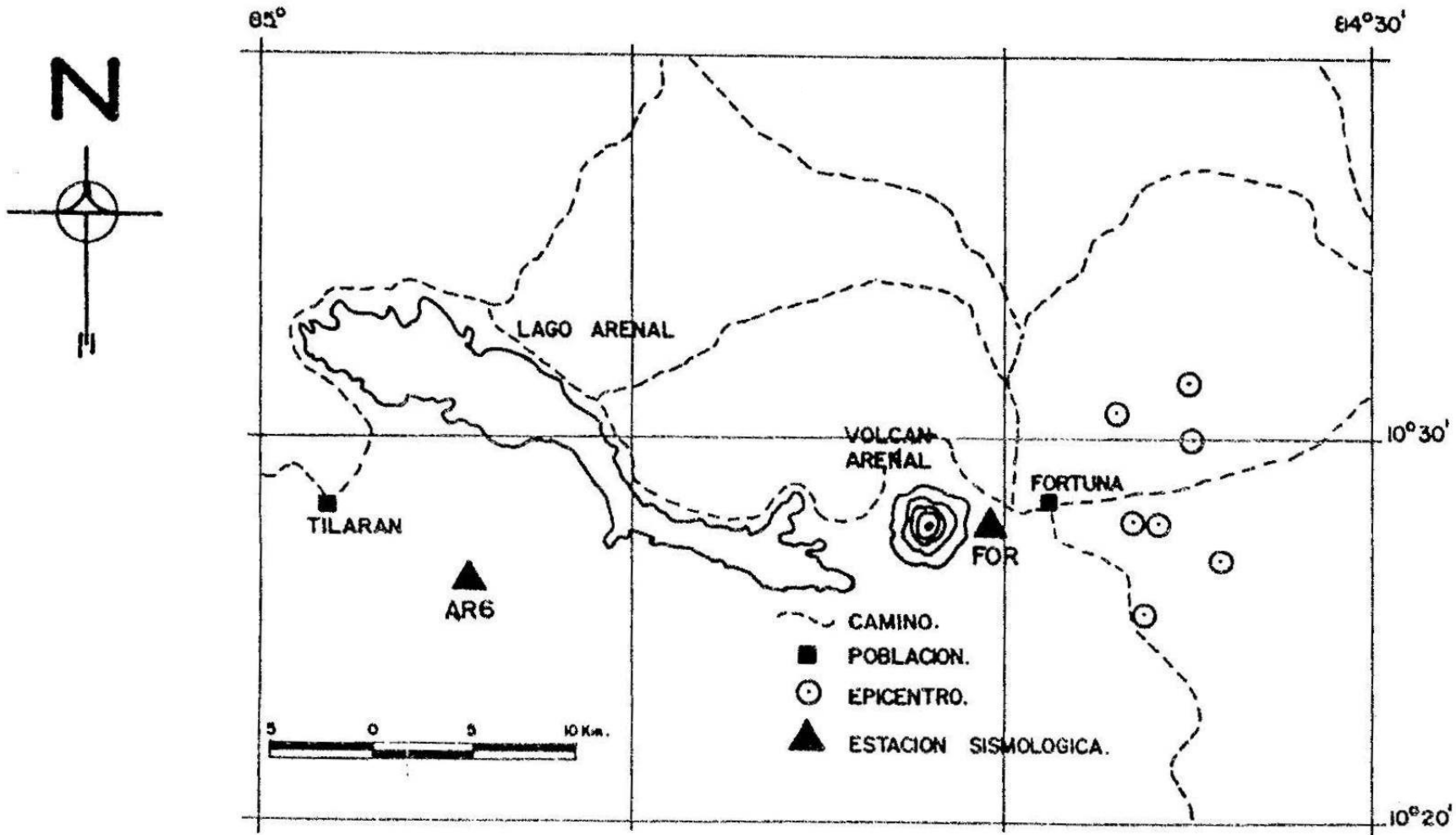


FIG. N° 2



RED SISMOLOGICA NACIONAL.  
R.S.N : ICE - UCR .

N

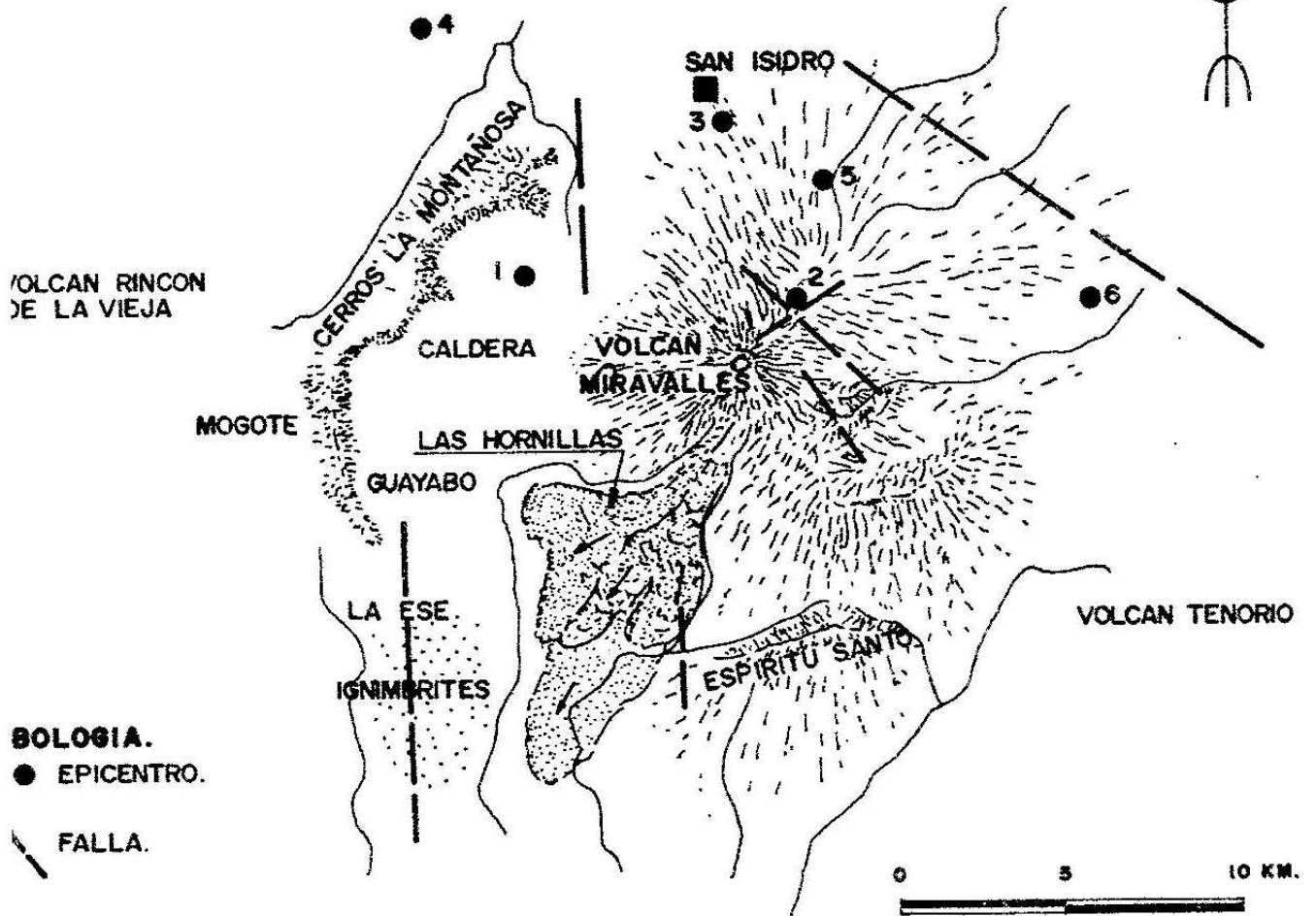
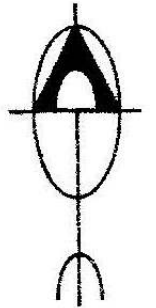


FIG. 3

# RED SISMOLOGICA NACIONAL R.S.N. ICE - UCR.

## EPICENTROS Y PROFUNDIDADES FOCALES DE LA CRISIS SISMICA DEL VOLCAN PLATANAR

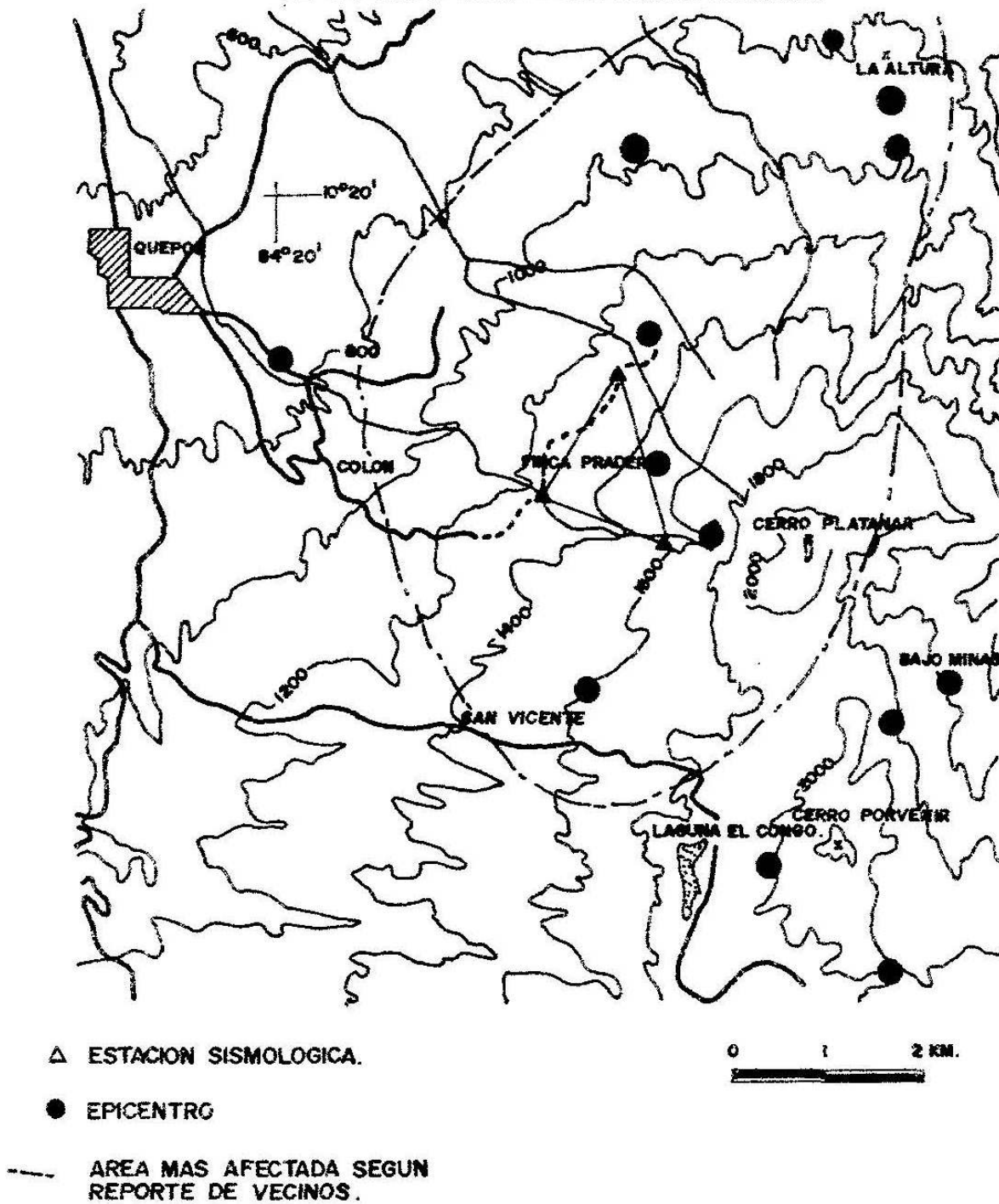
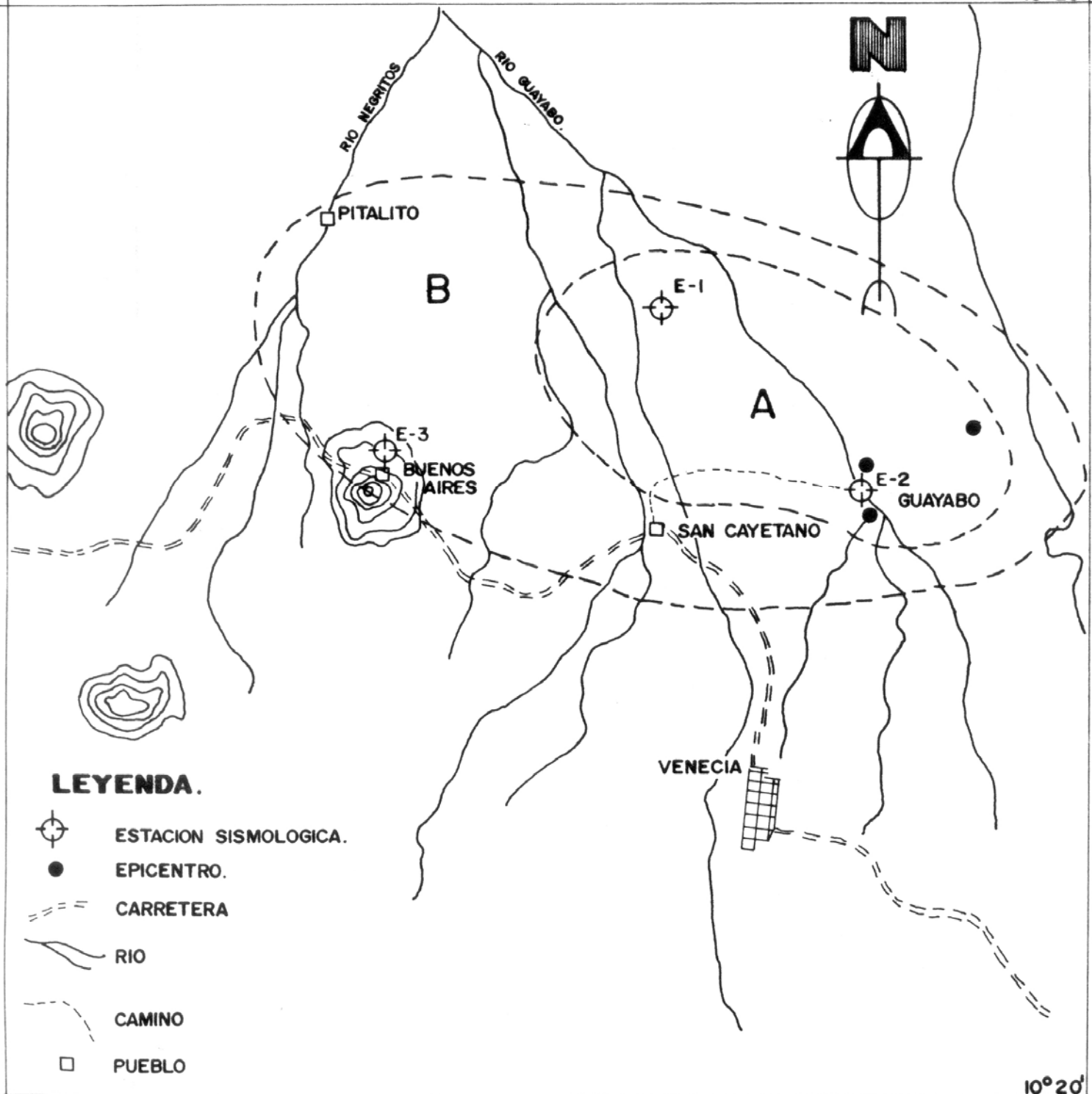


FIG. 4

# RED SISMOLOGICA NACIONAL ( I.C.E - U.C.R )

84°20'

10°25' 84°15'



**A** - AREA DONDE SE SINTIERON MAYOR CANTIDAD DE TEMBLORES

**B** - AREA DONDE SE SINTIERON UNICAMENTE LOS TEMBLORES DE MAGNITUD MAYOR.



FIG. 5

# MAPA DE EPICENTROS DE ENJAMBRE DE TEMBLORES DE AGOSTO 1987 EN EL PARQUE NACIONAL BRAULIO CARRILLO

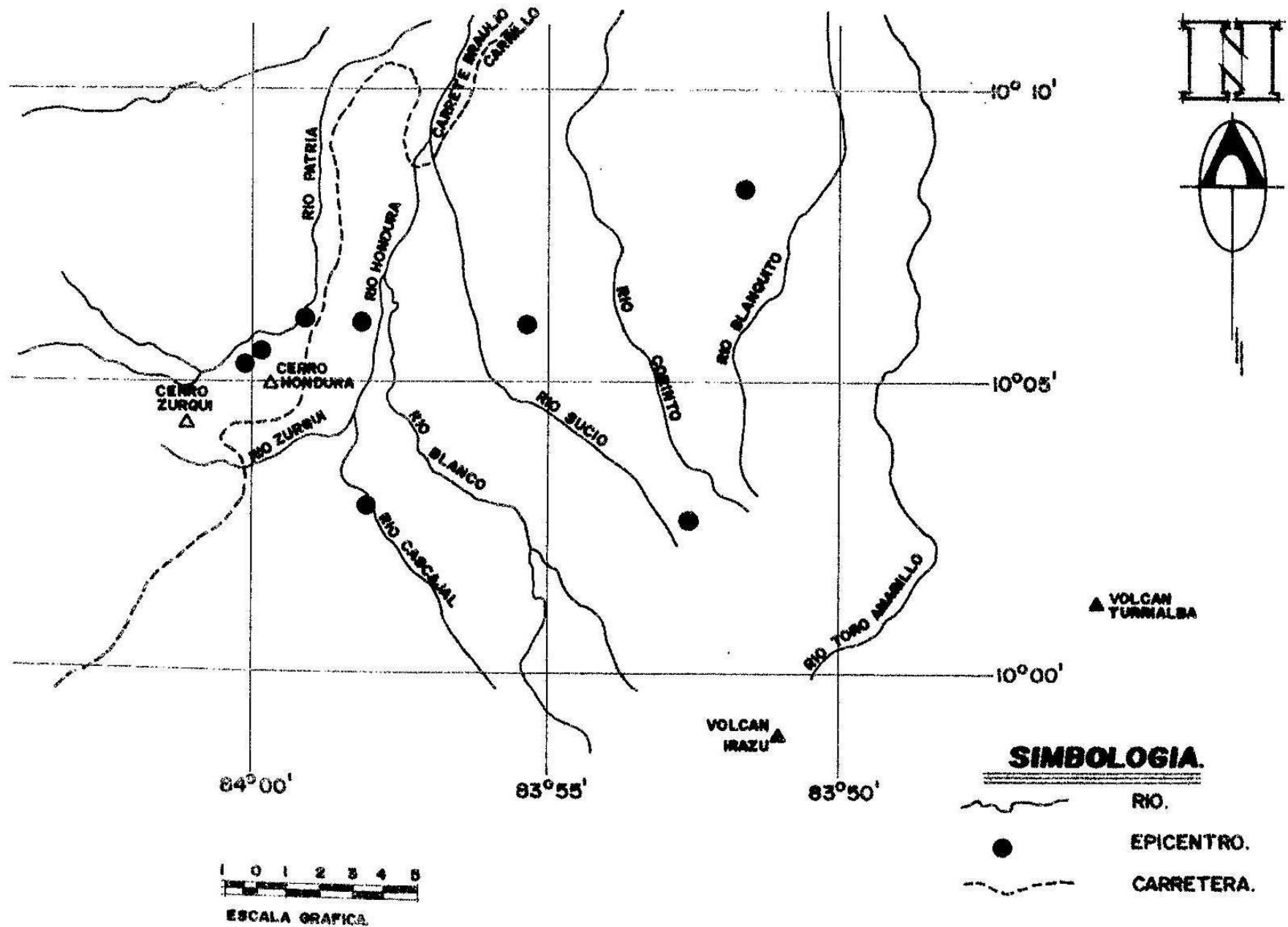
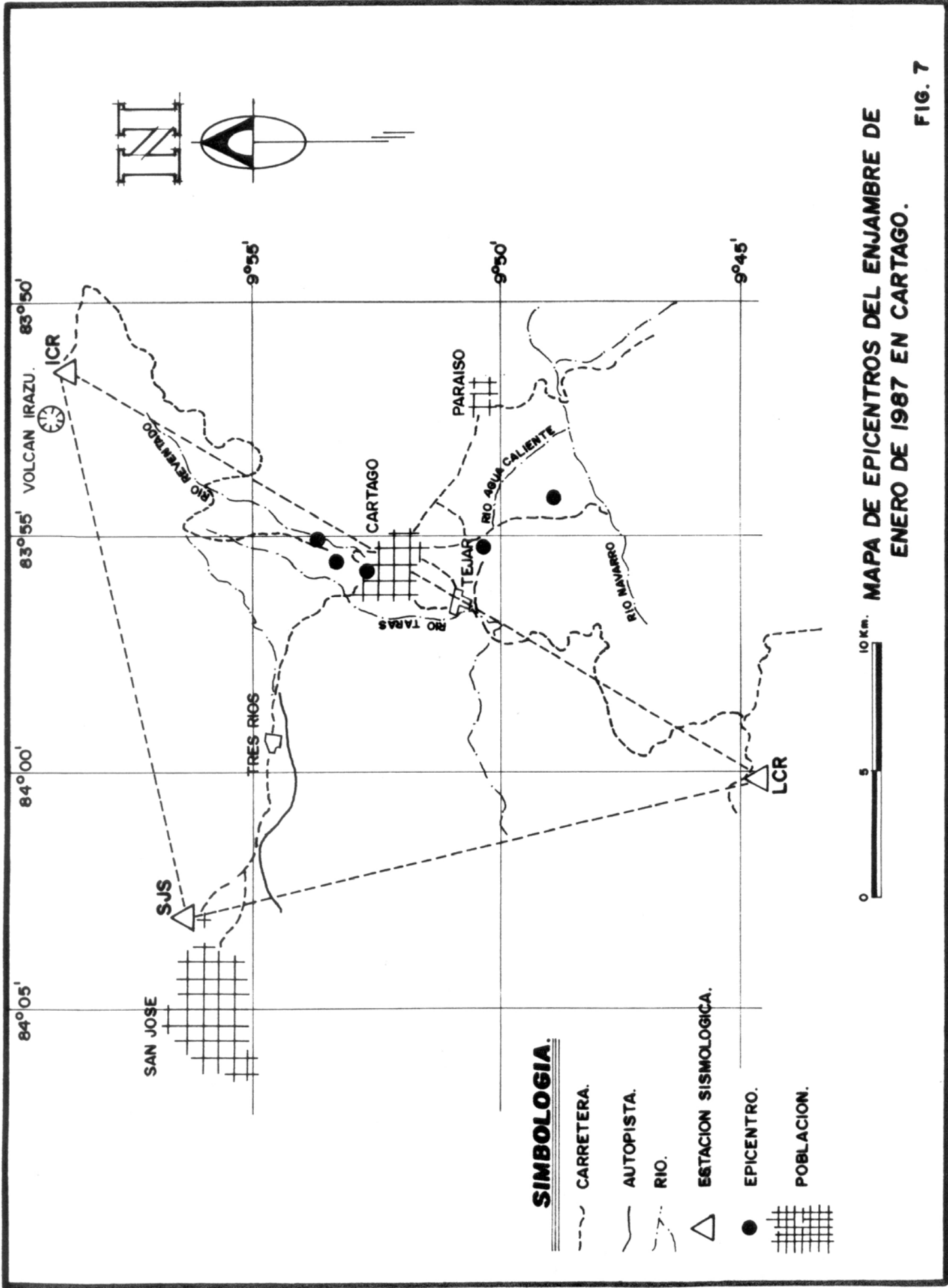


FIG. 6.

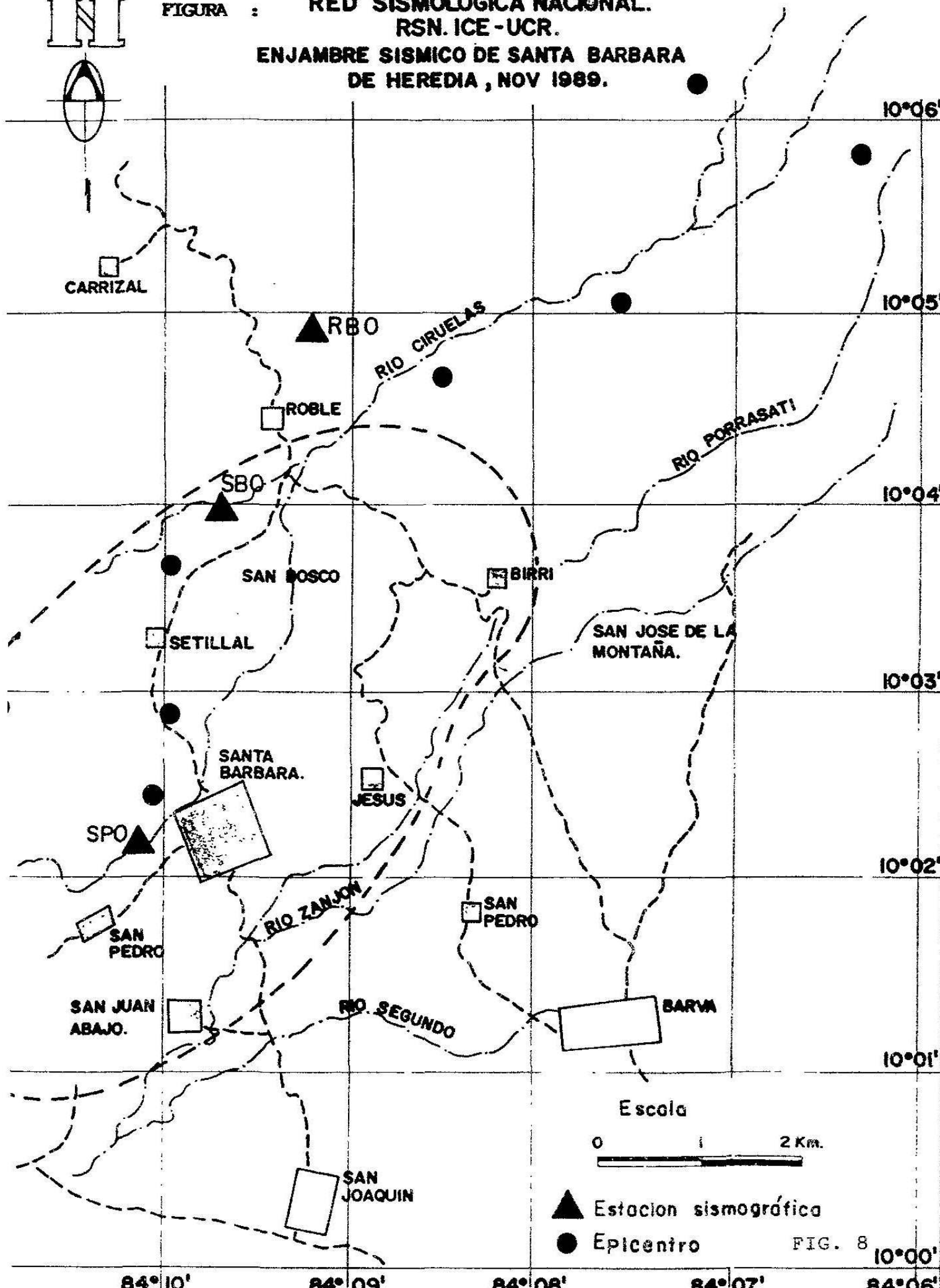


MAPA DE EPICENTROS DEL ENJAMBRE DE ENERO DE 1987 EN CARTAGO.

FIG. 7

N

FIGURA : RED SISMOLOGICA NACIONAL.  
RSN. ICE - UCR.  
ENJAMBRE SISMICO DE SANTA BARBARA  
DE HEREDIA , NOV 1989.



Escola

0 1 2 Km.

▲ Estacion sismografica

● Epicentro

FIG. 8

84°10' 84°09' 84°08' 84°07' 84°06'

10°06' 10°05' 10°04' 10°03' 10°02' 10°01' 10°00'