

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD

DIRECCION DE INGENIERIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**LA CRISIS SISMICA DEL GOLFO DE NICOYA
Y EVENTOS SISMICOS RELACIONADOS
COSTA RICA, 1990**

RED SISMOLOGICA NACIONAL

RSN: ICE-UCR

**INSTITUTO COSTARRICENSE DE
ELECTRICIDAD**

**OFICINA DE SISMOLOGIA Y
VULCANOLOGIA**

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

**ESCUELA CENTROAMERICANA
DE GEOLOGIA**

OCTUBRE, 1991

Editado por:

Geól. Rafael Barquero
Geól. Ileana Boschini

Participaron:

Geól. Rafael Barquero
Geól. Ileana Boschini
Ing. Alvaro Climent
Geól. Mario Fernández
Geól. Walter Montero
Geól. Wilfredo Rojas

Personal asistente:

Sr. Francisco Arias
Ing. José M. Barrantes
Sr. Dagoberto Boniche
Téc. Luis Fernando Brenes
Téc. Guido Calvo
Sr. Milton Corrales
Sr. Raymundo Fernández
Sr. Héctor Flores
Sr. Marco Gallardo
Sr. Manuel Gutiérrez
Sr. Marco Tulio Naranjo
Sr. Carlos Redondo
Geól. Gerardo Soto
Geól. Magda Taylor
Sra. María Esther Torres
Sr. Rigoberto Torres

CONTENIDO

	Pág.
Contenido	iii
Presentación	vi
Introducción	viii

PARTE I

CAPITULO 1: El terremoto de Cóbano, Costa Rica, 25 de marzo de 1990.

Introducción	01
Parámetros de la actividad sísmica en el Golfo de Nicoya	04
Area de ruptura	06
Parámetros cinemáticos y dinámicos de la ruptura principal	10

CAPITULO 2: Observaciones macrosísmicas y aceleraciones.

Introducción	15
Información macrosísmica	17
Deslizamientos causados por el sismo de Cóbano	18
Intensidades y distribución de isosistas	19
Relaciones de atenuación	22
Datos de aceleraciones	26
Comparación de los datos instrumentales con estimaciones teóricas de la aceleración	29
Conclusiones	32

CAPITULO 3: Interpretación sismotectónica de la región del Golfo de Nicoya.

Métodos de análisis	34
Resultados	34
Discusión	42

PARTE II

CAPITULO 4: Actividad sísmica relacionada con el sismo de Cóbano

Pág.

Introducción	45
Zonas sísmicas	46
Magnitudes máximas	48
Volcán Poás	50
Zona NE del Valle Central	54
Zona Oeste del Valle Central	57
Zona SE del Valle Central	57
Zona de Turrialba	58
Zona de la Península de Osa	63
Zona del Pacífico Norte	69
Zona de Dominical	69
Discusión y conclusiones	71

PARTE III

CAPITULO 5: El enjambre de Puriscal y Mora de 1990

Introducción	74
Antecedentes históricos	77
El enjambre sísmico	78
Actividad sísmica mayo-julio 1990	80
Magnitudes	83
Intensidades	84
Distribución de la sismicidad	85
Naturaleza de la fuente	87
Energía sísmica liberada	88
Reporte de daños	90

CAPITULO 6: El temblor de Piedras Negras del 22 de diciembre de 1990

Introducción	95
Parámetros sísmicos	96
Intensidades	97
Réplicas	97
Reporte de daños	101
Detalle de daños (al 24 de diciembre de 1990)	103

CAPITULO 7: Aceleraciones producidas por los sismos de Puriscal

Introducción	105
Aceleraciones del período mayo-junio	105
Aceleraciones del sismo del 22 de diciembre	110
Acelerograma de la base de la presa	110
Acelerograma del estribo izquierdo	111
Acelerograma de la cresta de la presa	111
Efecto del temblor sobre la presa	112
Conclusiones	112

CAPITULO 8: Interpretación neotectónica

Antecedentes históricos	114
Fuentes sísmicas	115
Interpretación tectónica	126
Conclusiones	126

Referencias	131
Anexo 1	135
Anexo 2	148
Anexo 3	152

P R E S E N T A C I O N

Eppur si muove!
Pero...si se mueve...!

No cabe dudas!, nuestro país se encuentra en una región tectónicamente viva, en donde la orogénesis, proceso forjador del continente, se desenvuelve a un ritmo quizás entre los más intensos del mundo...El año 1990 es una buena muestra...

Hé aquí un esfuerzo para que, de manera realmente científica, queden documentados los fenómenos, sus causas y consecuencias, para que no se borren tan fácilmente de la memoria colectiva y que más bien sean utilizados como lecciones para los tomadores de decisiones (políticas sobre todo) y se desarrolle conciencia.

Cóbano, Puriscal y Piedra Negras (Alajuela), han sido eventos sísmicos importantes, independientemente de si para la prensa son o no terremotos (eso es una discusión que no tiene importancia). Lo que es realmente importante es aprovechar estos eventos para comprender mejor nuestra tectónica y no solamente dedicarse a ubicar epicentros en un mapa.

Estudios como este demuestran que nuestro país posee personal profesional del más alto nivel y que el esfuerzo no es en vano, ni debe disminuirse a causa de planteamientos o intereses personales o grupales.

El próximo documento, ya en vías de preparación versará sobre la continuación de la crisis en 1991 (y tal vez más...), mostrará que toda la actividad del 90 forma parte de un conjunto, de un engranaje. Telire, Frailes, el Irazú, Pérez Zeledón y otros, son partes de ese mecanismo, por una parte impredecible y por otra ineluctable. 50 millones de años de historia geológica, aunque para algunos sea conceptualmente inaccesible, no cambian "así no más" ...

Esperamos que este documento sea de utilidad para investigadores, geólogos, ingenieros y sismólogos, pero también para aquellos que con sus decisiones forjan el futuro de nuestro país, planificando para que nuestra sociedad se adapte a las exigencias que nos impone la naturaleza. Si este es el resultado, nos sentiremos por ello suficientemente gratificados.

Dr. Sergio Mora C.
Setiembre, 1991

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado gracias al esfuerzo y entusiasmo de todos los miembros de la Red Sismológica Nacional (RSN: ICE-UCR).

En las investigaciones de campo realizadas en la región de Puriscal, Mora y Turrúcares fue fundamental el apoyo de la Comisión Nacional de Emergencias, a través de la Dirección de Prevención y Mitigación.

El apoyo brindado por las dos instituciones que se reúnen en la Red Sismológica Nacional, el Instituto Costarricense de Electricidad y la Universidad de Costa Rica, obtiene aquí los frutos por el esfuerzo realizado al mantener en operación una red nacional durante varios años y en la capacitación de su personal. A los directores de ambas instituciones agradecemos las oportunidades que hemos hallado para desarrollar nuestra labor.

Un agradecimiento especial al Instituto Costarricense de Electricidad que financia la publicación de este informe.

Los Editores.

CAPITULO 1

EL TERREMOTO DE COBANO, COSTA RICA, 25 DE MARZO DE 1990

WALTER MONTERO
ILEANA BOSCHINI
WILFREDO ROJAS

Introducción:

La actividad sísmica de la región de la entrada del Golfo de Nicoya forma parte de la zona sísmica de Nicoya tal como fue definida por Morales (1985). La actividad de temblores históricos puede ser definido a partir de los catálogos de temblores y estudios sismológicos particulares.

Así, como complemento al valioso catálogo elaborado por González Víquez (1910), Montero (1989) realiza un catálogo de sismos de Costa Rica desde el siglo XVI hasta 1910; en estos, temblores de magnitud igual o superior a 7,0 pueden ser ubicados en la región sísmica de Nicoya, únicamente a partir del siglo XIX. Montero (1986) ya había propuesto la ubicación espacial y magnitud de una serie de eventos ocurridos en la región de Nicoya, los cuales en el siglo XIX se inician con un sismo en 1826. Posteriormente incluye los sismos de 1853, 1863 y en el siglo XX los ocurridos en 1900, 1905, 24 de abril de 1916, 21 de diciembre de 1939, 1950 ($M_s = 7,7$) y 1978 con dos eventos de magnitud $M_s = 7,0$. Montero (1986) define la doble secuencia sísmica en la zona de Nicoya como un patrón característico presente en este sector del margen convergente. Propone que la misma se inicia con un evento de magnitud 7,0

o superior, después de un período de quietud sísmica que tiene un valor promedio de 22 ± 11 años.

Posteriormente, ocurre un período de tranquilidad sísmica de aproximadamente diez años y luego vuelve a ocurrir otro evento dentro del mismo intervalo de magnitud. Así mismo, reconoció tres de estas secuencias desde el siglo pasado y sugirió que los eventos de 1978 podrían haber iniciado una nueva secuencia de este carácter, por lo cual señaló la alta probabilidad de que ocurriera un evento de magnitud $M_s = 7,0$ o superior en los siguientes diez años en la zona sísmica de Nicoya. Su trabajo no reconoce las características peculiares desde el punto de vista sísmico y tectónico de la región de la entrada del Golfo de Nicoya y su sugerencia estaba dirigida a sismos interplaca.

Morales (1983) estudió con detalle la sismicidad de la entrada del Golfo de Nicoya siendo el primer trabajo que mostró la particularmente alta actividad sísmica que normalmente se presenta en esta región, señalando que en un intervalo de 40 años (1916-1956), ocurrieron 8 sismos con una magnitud promedio de 6,8. Desde esa fecha observó un período de tranquilidad sísmica, indicando que la energía se estaba acumulando e incrementándose para generar un sismo de hasta $M = 6,8 \pm 0,5$. Como veremos posteriormente, esta alta tasa de actividad sísmica se explica porque en esta región se inicia la subducción de levantamientos oceánicos relacionados al borde noroeste de la litosfera joven generada en la dorsal de

las Galápagos. Güendel (1987) sugirió la presencia de una brecha sísmica frente a la Península de Nicoya, señalando el alto potencial sísmico que podría generar un sismo de magnitud hasta de 7,6. Esta brecha sísmica sin embargo, se presenta en una región que de acuerdo a los resultados de Byrne et al (1988), normalmente tiene un comportamiento asísmico.

Nishenko (1989) estimó que la zona sísmica de Nicoya tenía una probabilidad superior al 40% de ocurrencia de un sismo de magnitud 7,0 mayor en el período de 1990-2000.

En relación con los eventos históricos, no existe evidencia clara que sugiera que alguno de ellos pudiera haber tenido la misma ubicación del evento de Cóbano. Lo anterior considerando que los datos macrosísmicos son muy escasos, especialmente los referidos a poblaciones ubicadas en el borde del pacífico de Costa Rica . Entre los eventos del siglo pasado que pudieron haber ocurrido en esta región podemos mencionar el del 3 de marzo de 1882, aunque Montero y Climent (en prensa) sugieren que el mismo se ubicó en la región sísmica de Quepos. Los eventos de 1827, 1853, y 1863, especialmente estos dos últimos, parecen tener epicentro en la región de Nicoya, tal como fue propuesto por Montero (1986) con base en las referencias macrosísmicas, pues originaron daños en la población de Nicoya. Es de observar que el sismo de Cóbano, no originó daños en esta última población, y una característica de los sismos que ocurren a la entrada del

Golfo de Nicoya, es que generan daños en la zona de Puntarenas y el borde occidental del Valle Central.

En el presente siglo, posiblemente el sismo del 20 de enero de 1905 ($M_s = 7,0$), ocurrió a la entrada del Golfo de Nicoya, pues la distribución de daños es similar a la del evento del 25 de marzo 1990.

El sismo del 21 de diciembre de 1939 ($M_s = 7,3$) como propusieron Carr y Stoiber (1977), ocurrió en una falla transversal a la fosa y por la distribución de daños tendría epicentro en esta zona, por lo que este sismo debe considerarse como el último evento mayor con epicentro en esta región sísmica. Por lo tanto, en 1990 habían transcurrido 50 años desde el último sismo importante en la entrada del Golfo de Nicoya.

Parámetros de la actividad sísmica del golfo de Nicoya:

La actividad sísmica asociada al terremoto de Cóbano del 25 de marzo de 1990, se inició con una ruptura múltiple. El primer sismo ocurrió a las 13:16 ($M_s = 6,4$), otros temblores de magnitudes bajas ocurrieron en los siguientes minutos, incluyendo el de las 13:19 ($M_L = 3,9$). Finalmente el evento principal ocurrió a las 13:22 ($M_s = 7,0$). Los parámetros sísmicos de los principales sismos ocurridos se presentan en la Cuadro 1.

220 6914 Page

CUADRO 1.

PARAMETROS SISMICOS DE LOS EVENTOS PRINCIPALES.

FECHA	TIEMPO ORIGEN	LATITUD N	LONGITUD W	PROF. km	M _L	COMENTARIOS
25-3-90	13:16:05,23	09°33,26	84°56,90	16,3	5,7	Precursor, Ms=6,4 Intensidades: V: Montezuma, Jacó, Cabuya, Tambor IV-V: Cóbano, Tárcoles IV: Atenas, Puriscal, Quepos, San José, Paquera, Puntarenas, Orotina, Alajuela III-IV: Liberia, Ciudad Quesada, Santa Cruz, Miravalles II: Limón, San Isidro del General, Los Chiles, Tilarán Sismo principal, Ms=7,0
25-3-90	13:22:55,30	09°33,27	84°55,68	17,0	6,5	Intensidades: VIII: En algunos puntos aislados de Cóbano, Puntarenas, Mata Limón, Jacó VII: Cóbano, Montezuma, Tambor, Esterillos, Río Negro, Tárcoles, Jacó, Tivives, Cabuya VI-VII: Puntarenas, Barranca, Orotina, Paquera, Mal País VI: San José, Heredia, Alajuela, Quepos, Atenas, Grecia, Nicoya, San Ramón, Esparza, Puriscal V-VI: Cañas, Cartago, Hojanca, Guatuso, Tilarán, Palmares, Parrita, Ciudad Quesada V: Liberia, Santa Cruz, Santa Rosa de Cutris, Turrialba, Miravalles, Bagaces, Upala IV-V: Sámará, Marbella, Guayabo, Los Chiles, Puerto Cortés, Playa del Coco, Limón IV: Barra del Colorado, Sixaola, Golfito, Parrita, Puerto Viejo de Sarapiquí, Pérez Zeledón, Puerto Armuelles (Panamá) III-IV: La Cruz, San Vito, Coto Brus, Palma Almirante (Panamá) III: David (Panamá) II: Remedios (Panamá)
25-3-90	21:35:19,40	09°18,64	84°50,69	25,3		4,8 Réplica. Intensidades: III: Jacó II: Atenas, San José
26-3-90	10:48:16,72	09°45,74	84°55,53	23,4		4,2 Réplica. Intensidades: III: Atenas, San José II: Golfito
26-3-90	15:41:36,09	09°47,02	84°53,66	5,0		3,8 Réplica. Intensidades: II: Puntarenas
26-3-90	18:39:56,85	09°30,49	84°59,28	35,5		4,2 Réplica. Intensidades: II: San José
27-3-90	14:52:19,47	09°31,18	84°45,54	20,6		4,6 Réplica. Intensidades: III: Jacó, Herradura II: Alajuela
28-3-90	17:24:43,35	09°21,12	84°42,79	23,6		4,2 Réplica. Intensidades: II: San José

Area de ruptura:

Con base en las réplicas localizadas el día 25 de marzo (Fig.1), se estimó el área de ruptura inicial asociada a los eventos de las 13:16 GMT ($M_s=6,4$) y al evento principal de las 13:22 GMT ($M_s=7,0$). La misma tiene una longitud de 30 km y un ancho inclinado de 23 km. El ancho se estimó inclinado considerando, que los eventos se distribuyeron entre las profundidades de 5 y 25 km y el plano de ruptura tiene una inclinación de 60° al NW, este último valor es un promedio entre el ángulo de inclinación del plano de ruptura de rumbo $N27^\circ E$ del mecanismo focal del evento principal (Fig. 2), y el del mecanismo focal compuesto del evento principal y las réplicas cercanas. Esta área de réplicas incluye los eventos de mayor magnitud, estimándose una ruptura de 690 km^2 .

Las réplicas del primer día también definen otra área de actividad sísmica, que se ubica hacia el este y que tiene un rumbo N-S. Esta sismicidad resultó de la interacción de la falla que rompió durante el sismo de Cóbano, con un sistema de fallas que se localiza al este y que define un patrón de sismicidad de rumbo cercano al norte.

El área de ruptura inicial se fue expandiendo en los siguientes días, tal como lo muestra claramente las réplicas localizadas hasta el 30 de abril (Fig. 3). La expansión se presentó especialmente hacia la zona de la fosa Mesoamericana. Sin embargo, fueron relativamente pocos los eventos registrados desde el borde de la plataforma continental hacia

PGM ANASIS Ver 2.0

RED SISMOLOGICA NACIONAL, ICE-UCR MAPA DE EPICENTROS DE COSTA RICA AMPLIACION

FEC m:25-03-1990
 FEC M:25-03-1990
 GMT=00h-24h
 LAT= 8.80°-10.00°
 LON=84.50°-85.50°
 PRF= 0.0- 999.9 Km
 MAG= 0.0- 9.9

SIMBOLOGIA:

M=3 □ M=4 ◇ M=5 +
 M=6 △ M=7 ▽ M=8 ○

STA * CIU ○

BASE.:RSN1990

N SIS: 41

M≤3.9: 35 4≤M<5: 4

5≤M<6: 1 6≤M<7: 1

7≤M<8: 0 M≥8 : 0

ZONA DE AMPLIACION

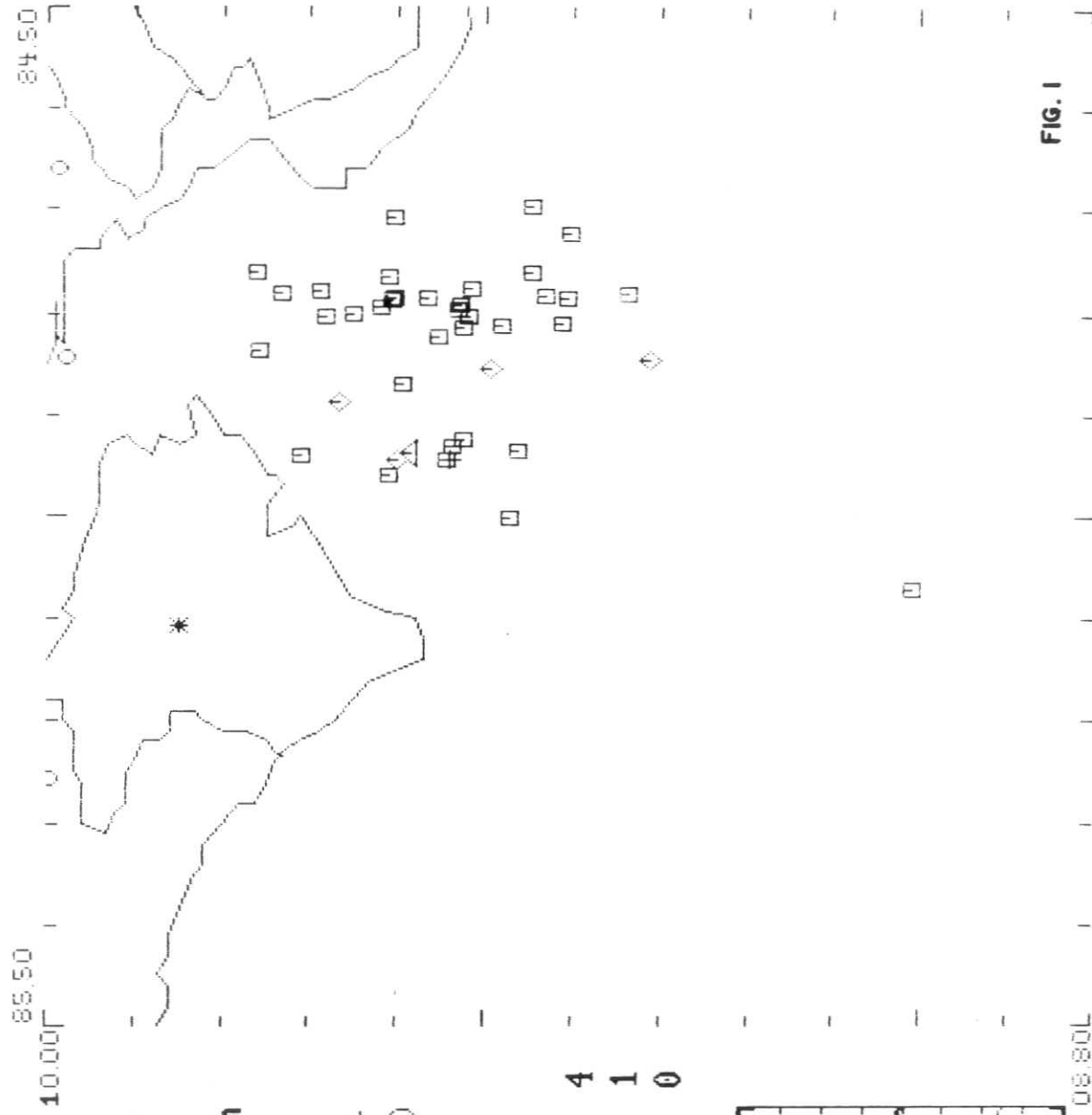
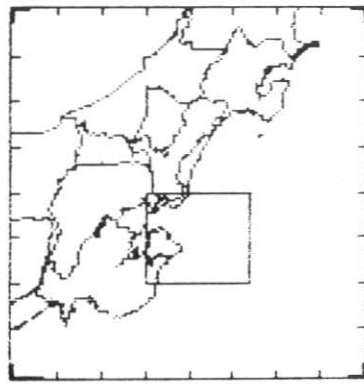
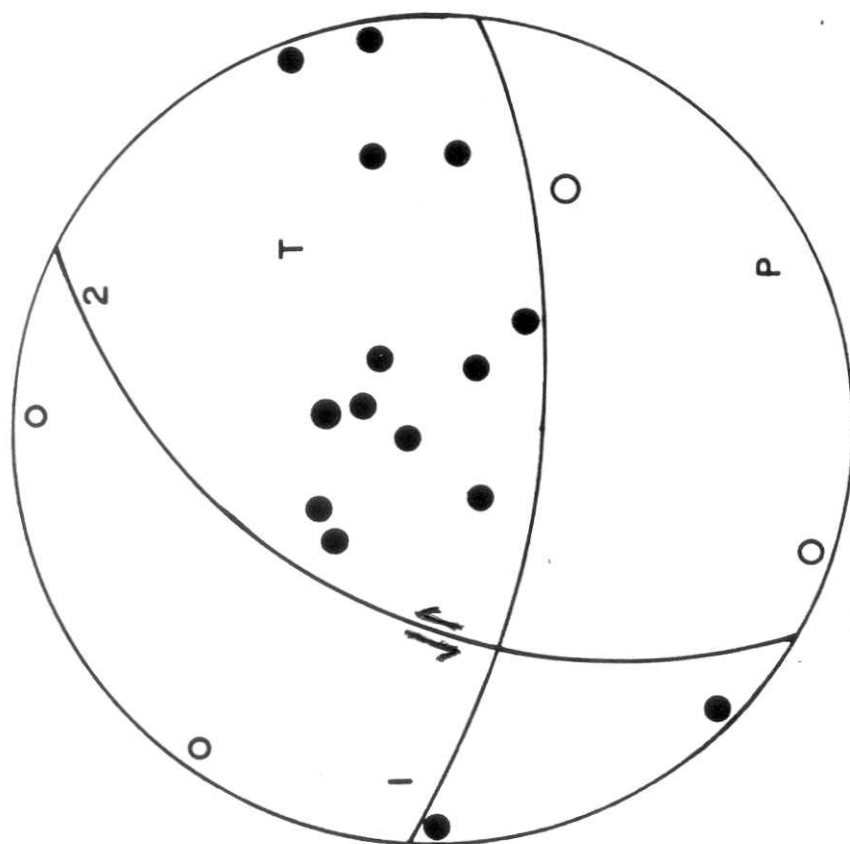


FIG. 1

MECANISMO FOCAL DEL TERREMOTO DE COBANO.

FECHA : 25 - 03 - 1990
HORA : 13 : 22 GMT

MD : 6,5 (RSN)
MB : 6,2 (NEIC)
MS : 7,0 (NEIC)
MW : 7,1 (RSN)



PLANO 1 : RUMBO : S 83° E, BUZ. 67° E
PLANO 2 : RUMBO : N 27° E, BUZ. 51° NW
EJE P : DIRECCION S 25° E, INCLINACION 10°
EJE T : DIRECCION N 55° E, INCLINACION 56°

SOLUCION ESCOGIDA : PLANO N° 2

FALLA DE DESPLAZAMIENTO LATERAL IZQUIERDO CON UNA COMPONENTE DE 33% DE DESPLAZAMIENTO INVERSO.

DATOS UTILIZADOS				
EST.	PER.	POL.	AZ.	Ain.
SRA	PC	C	226	89
AR6	PC	D	1	90
VCR	PC	D	306	90
FOR	PC	D	197	90
SJS	PC	C	70	90
LCR2	PC	C	82	90
BUS	PC	C	273	90
LKO	PC	C	79	57
ACR	PC	D	119	57
UPA	PL	C	97	57
GDH	PL	C	10	20
KEV	PL	C	20	14
TOL	PL	C	54	18
SAL	PL	C	120	15
BDF	PL	C	129	28
SNZO	PL	C	232	15
PAS	PL	C	311	29
LON	PL	C	324	26
CHTO	PL	C	347	5

RED SISMOLOGICA NACIONAL.

PGM ANASIS Ver 2.0

FEC m:25-03-1990

FEC M:30-04-1990

GMT=00h-24h

LAT= 8.80°-10.00°

LON=84.50°-85.50°

PRF= 0.0- 999.9 Km

MAG= 0.0- 9.9

SIMBOLOGIA:

M=3 □ M=4 ◇ M=5 +

M=6 △ M=7 ▽ M=8 ○

STA * CIU ○

BASE.:RSN1990

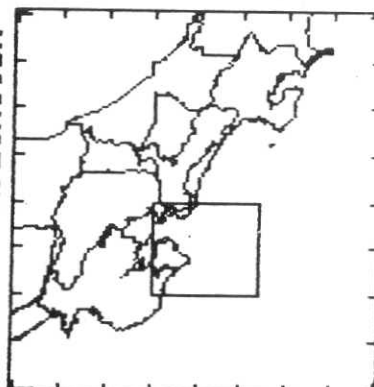
N SIS: 188

M<3.9: 171 4≤M<5: 15

5≤M<6: 1 6≤M<7: 1

7≤M<8: 0 M≥8 : 0

ZONA DE AMPLIACION



RED SISMOLOGICA NACIONAL, ICE-UCR MAPA DE EPICENTROS DE COSTA RICA AMPLIACION

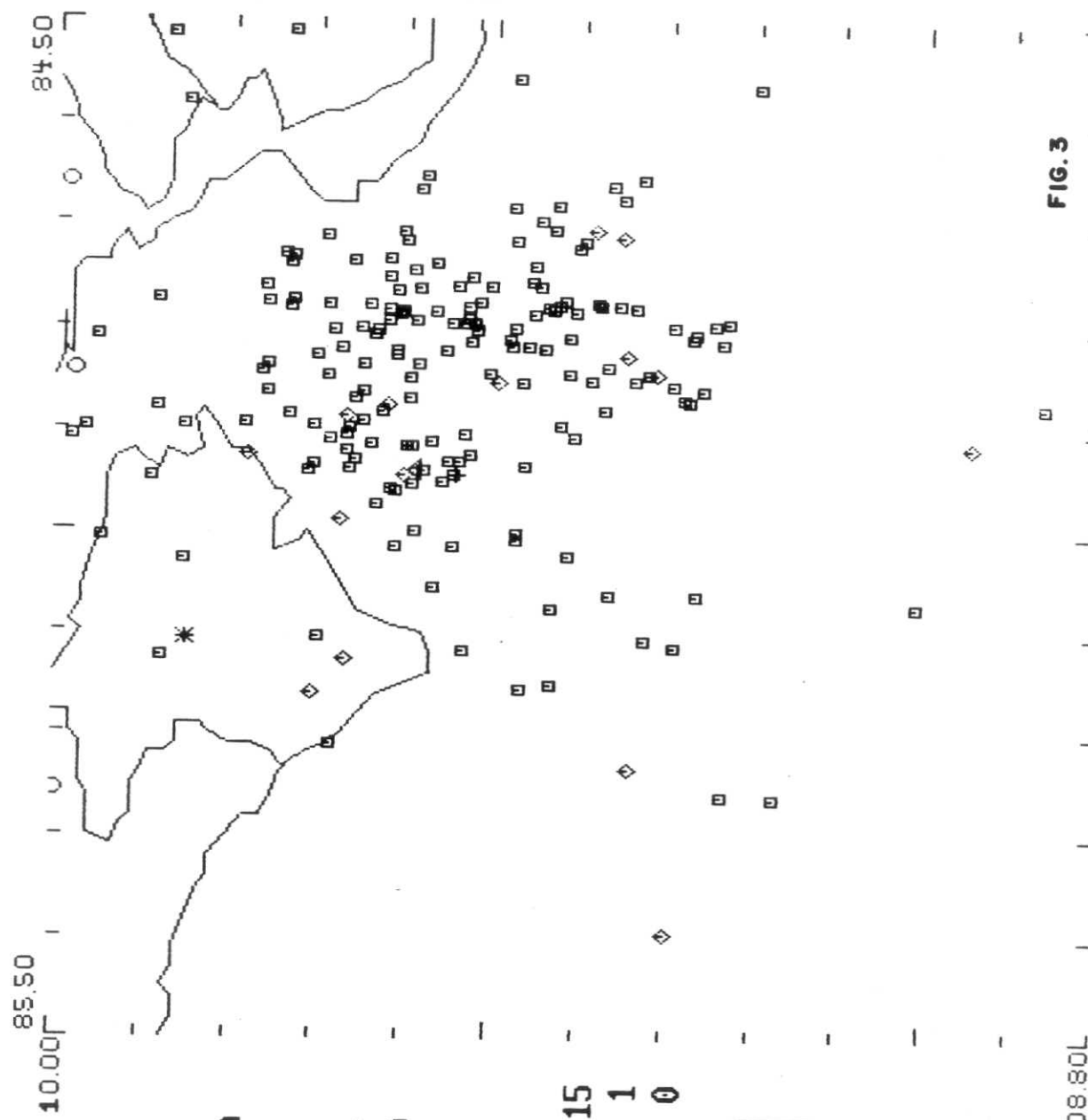


FIG. 3

08.80L

la región de la fosa, indicando el carácter fuertemente asísmico de esta región. Este comportamiento es típico de distintos márgenes convergentes de placas (Byrne et al, 1988).

El área de ruptura calculada con base en la sismicidad registrada hasta el 30 de abril de 1990, se estimó considerando un largo adicional de 20 km y un ancho inclinado de 15 km. Esta subárea tiene 300 km². Sin embargo, debemos reducir esta área en aproximadamente 100 km², porque la actividad sísmica se concentró arriba de la zona de Benioff, que en esta región tiene un ángulo cercano a 10 grados. Por consiguiente, el área hipocentral incorporando eventos hasta el 30 de abril de 1990, se estima en 900 km². Se observa que el área inicial de la ruptura se expandió 200 km², lo cual representa aproximadamente un 30% respecto la ruptura inicial.

Parámetros cinemáticos y dinámicos de la ruptura principal:

El momento sísmico estimado por el National Earthquake Information Center (NEIC) del Servicio Geológico de Estados Unidos, para el evento principal de las 13:22 GMT (Ms=7,0), es de $6,0 * 10^{19}$ Nm. La magnitud de momento Mw es 7,1, valor calculado usando la relación de Kanamori (1977).

A partir de este valor podemos estimar el desplazamiento asociado a la ruptura (u), de acuerdo a la relación:

$$M_0 = \mu u A \quad (1)$$

Si suponemos un módulo de rigidez (μ) de $6 \cdot 10^{11}$ dinas/ cm² valor normal para la región cortical, encontramos que u es 143 cm. La relación de Chinnery (1969) para fallas de desplazamiento de rumbo es:

$$u = \log (0,96 * Ms - 6,69) \quad (2)$$

Sustituyendo $Ms=7,0$, encontramos que u es 107 cm. Iida (1965) definió para diferentes tipo de fallas:

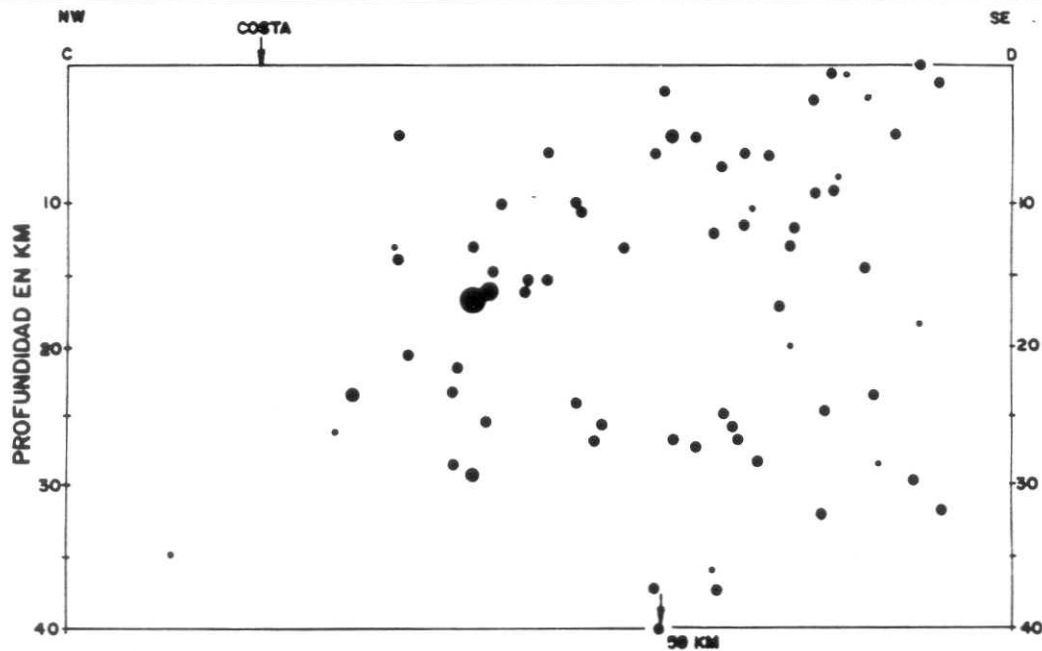
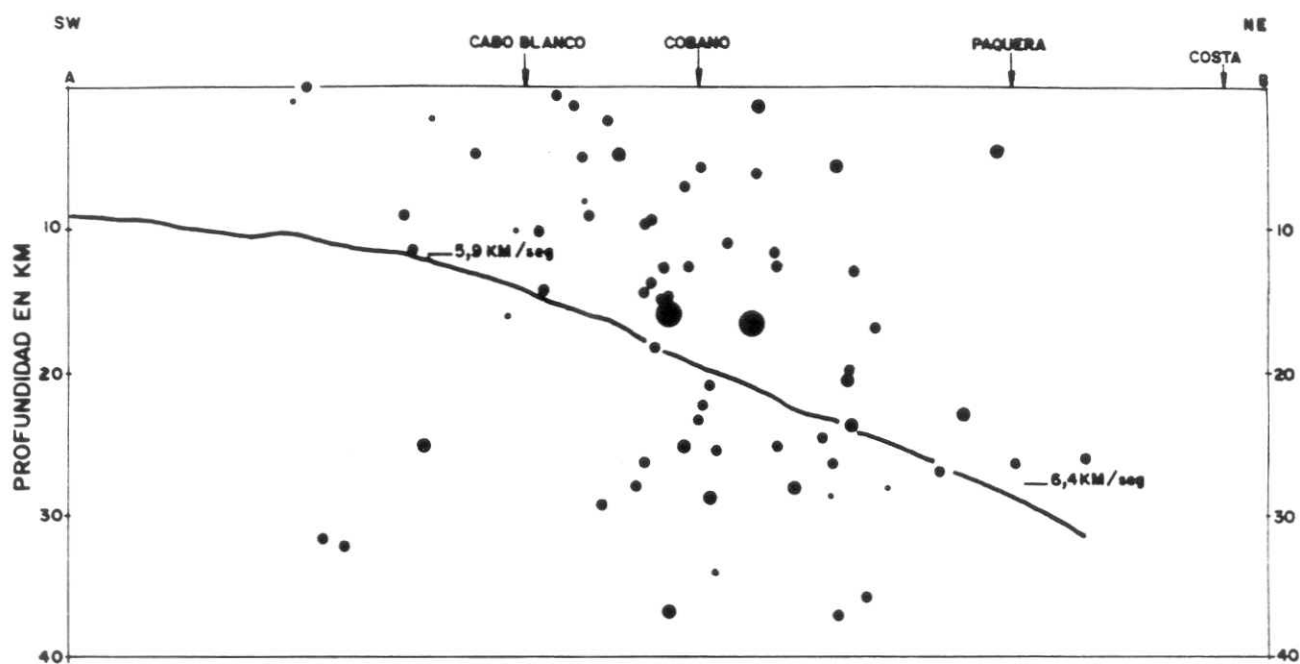
$$u = \log (0,55 * Ms - 3,7) \quad (3)$$

Usando $Ms=7,0$, se encuentra que u es 138 cm. Los valores previos son bastante similares entre sí, considerando los errores implícitos en las estimaciones, el valor promedio es 129 cm. El valor del desplazamiento de inclinación sería 70 cm y el desplazamiento sinistral sería 111 cm. Los anteriores valores se obtienen considerando un ángulo de deslizamiento de 30 grados obtenido a partir del mecanismo focal del evento principal. La componente vertical se calcula aproximadamente en 60 cm. No se puede determinar que fracción de este último valor corresponde con el levantamiento absoluto de la península de Nicoya , aunque es claro que la morfología del borde costero de rumbo NE del extremo SE de la península corresponde con una de recientes levantamientos (Hare y Gardner, 1985, Fischer, 1980). Según reportaron algunos

turistas que se encontraban en las playas Tambor y Montezuma, muy cerca del área epicentral, inmediatamente después del evento principal, el océano se retiró de la costa por varios metros, quedando el área de la playa extendida por una mayor distancia. Hay que mencionar también que el mareógrafo ubicado en puerto Quepos registró un tsunami (Gutiérrez y Soley, 1990).

La razón de Poisson (σ) también fue estimada a partir del diagrama de Wadati para tres sismos de calidad A seleccionados. El valor encontrado es de 0,25.

Se han realizado dos perfiles sísmicos para definir mejor la geometría de la ruptura (Fig. 4). Los mismos se realizaron con base en una muestra de sismos de calidad A y B ocurridos entre el 25 y el 30 de marzo de 1990. Un perfil paralelo a la fosa muestra que los hipocentros se distribuyen especialmente entre las profundidades de 5 y 30 km, excepto hacia el SE donde las profundidades disminuyen hasta tener valores cercanos a 0 km. Otro aspecto interesante es la casi ausencia de temblores en el intervalo de profundidades entre 15 y 23 km. Esto puede explicarse de dos maneras: a) por un artificio provocado por el modelo de velocidades utilizado para localizar hipocentros en el programa HYP078, o b) debido a la ruptura de una aspereza presente en el intervalo de profundidades indicado y, por lo tanto, la actividad de réplicas se presentó hacia los bordes de la aspereza tal como se ha observado en diversas áreas de réplicas de muchos



SIMBOLOGIA

- $2,0 \leq M < 3,0$
- $3,0 \leq M < 4,0$
- $4,0 \leq M < 5,0$
- $5,0 \leq M < 6,0$
- $6,0 \leq M$

FIG. 4.

terremotos. El perfil sísmico de rumbo N30°E, perpendicular a la fosa, muestra una tendencia de los hipocentros a aumentar en profundidad, conforme vamos hacia la costa. En el mismo perfil hemos trazado el límite interplaca Coco-Caribe de acuerdo a Buffler et al. (1985). Se observa claramente, que los hipocentros se distribuyen tanto arriba como debajo de esta interfase. Los eventos mayores se ubican ligeramente arriba de la interfase de las placas Coco-Caribe, esto se interpreta que representa fallamiento transversal a la fosa, el cual se presentó a lo largo del borde oeste de la placa Caribe, propagándose también la ruptura dentro de la placa del Coco.

CAPITULO 2

OBSERVACIONES MACROSISMICAS Y ACELERACIONES

ALVARO CLIMENT

Introducción:

A raíz de la ocurrencia del sismo de Cóbano del día 25 de marzo de 1990, y con la intención de poder obtener mayor información sobre el comportamiento del suelo ante la sacudida sísmica, se recopiló una gran cantidad de información macrosísmica en base a entrevistas telefónicas, reportes aparecidos en los diferentes periódicos del país y observaciones de campo, ésta información fue analizada y agrupada para obtener valores de Intensidad Mercalli Modificada I (MM).

Considerando la importancia de conocer la forma en que las ondas sísmicas se atenúan, desde la fuente a un sitio determinado en base al dato de intensidad, se obtuvieron diferentes relaciones de atenuación, que permiten realizar estimaciones en sitios donde no se logró obtener observación o reporte de la misma.

Aunque los estudios modernos de sismicidad están esencialmente basados en registros instrumentales, la información macrosísmica de intensidades y radios de perceptibilidad juegan todavía un rol importante (Bath, 1980), ya que esta serie de observaciones macrosísmicas correlacionadas con el dato instrumental, permiten mejorar el conocimiento sismológico de aquellas regiones del mundo que se

ven afectadas por eventos sísmicos, tal es el caso de Costa Rica.

Debido a las condiciones tectónicas en que se encuentra ubicada Costa Rica, caracterizada por un alto régimen de sismicidad, el Instituto Costarricense de Electricidad por medio de la Oficina de Sismología y Vulcanología del Departamento de Geología, ha instalado instrumentos de registro del movimiento fuerte del suelo en diferentes sitios de interés hidroeléctrico y geotérmico, estos instrumentos son acelerógrafos que permiten obtener información acerca del comportamiento dinámico que sufren sitios y estructuras que son sometidos a sacudidas fuertes del suelo cuando ocurre un temblor.

La red de acelerógrafos del ICE tiene actualmente doce acelerógrafos en nueve sitios de registro, los que se complementan con los instrumentos instalados por la Red de Acelerógrafos del Instituto de Investigaciones en Ingeniería (IINI) de la Universidad de Costa Rica.

Como consecuencia del sismo ocurrido el domingo 25 de marzo de 1990, algunos de estos instrumentos fueron activados, obteniéndose valiosa información sobre el comportamiento dinámico de los sitios y de las presas donde estos instrumentos se ubican.

Morales (1983) evaluó la amenaza sísmica de esta zona, determinando la posible ocurrencia de un evento sísmico de magnitud de $6,8 \pm 0,5$, el cual generaría como efectos

esperados, deslizamientos en aquellas zonas cuyas laderas tuvieran pendientes mayores a los 30°, licuefacción en zonas costeras y por supuesto daños en las edificaciones.

Información macrosísmica:

La información macrosísmica fue obtenida directamente en el campo por personal de la RSN, por medio de entrevistas telefónicas, así como de la amplia cobertura que los medios de comunicación le brindaron a todo lo concerniente a este sismo. De esta forma se logró obtener un recuento casi completo de los daños y efectos producidos por el sismo en todo el territorio nacional, información que fue utilizada para la asignación de valores de intensidad para cada sitio específico. Se pudo constatar que en las zonas donde se presentó la mayor intensidad (grado VIII MM) como Cóbano, Puntarenas y Mata de Limón ocurrieron daños estructurales y colapso total de viviendas y edificios bajos en mal estado, reventaduras profundas en paredes, deslizamientos, caída de mercaderías y artículos en estantes, caídas de estantes, reventadura de vidrios y en sitios aislados de Puntarenas se presentó licuefacción (Sauter y Cartín, en prensa).

En sitios ubicados a distancias intermedias del epicentro como San José, Cartago, Liberia, Alajuela, Cañas, Nicoya, etc. se reportaron daños en edificios sin encontrarse daño estructural, reventaduras en paredes, caída de repellos, desprendimiento de cielo-rasos, reventadura de vidrios.

También se presentó interrupción de los servicios telefónicos lo cual se agravó debido al congestionamiento normal posterior a un evento como este, redundando en un deficiente servicio durante el día. En el caso de las averías en el servicio eléctrico se debieron a la reventadura de líneas primarias y corto circuitos en transformadores de mediana tensión.

En lugares alejados como Paso Canoas, Golfito, Limón, La Cruz, Los Chiles, el sismo fue sentido fuerte y causó cierta preocupación en la población pero no se reportaron daños.

Deslizamientos causados por el sismo de Cóbano:

No obstante la magnitud, intensidades y aceleraciones inducidas por este evento sísmico, puede considerarse que la cantidad y amplitud de los deslizamientos generados fue muy reducida.

En efecto, fue un factor definitivamente favorable que el sismo ocurriera en el mes de marzo, más bien hacia finales de la estación seca. El escaso contenido de humedad en los suelos permitió una mejor respuesta dinámica de laderas y taludes.

Entre los lugares en donde fueron observados deslizamientos, todos de dimensiones reducidas, pueden mencionarse: cortes de carretera Jicaral-Montezuma-Malpaís, pequeñas colinas en Cabo Blanco, Alto del Chiquero, Herradura, Caletas, Quebrada Ganado, carretera Atenas-Orotina, carretera Doña Ana-Caldera, carretera San José-Guápiles, diversos puntos de la Carretera Interamericana entre Esparza y río Lagarto y

el Cañón del río Virilla entre Las Ventanas y la confluencia con el Río Grande. Todos fueron de poco espesor y desplazaron solamente el suelo residual.

Intensidades y distribución de isosistas:

Observaciones de campo, información periodística y entrevistas telefónicas fueron utilizadas para asignar valores de intensidad en la escala Mercalli Modificada a las diversas poblaciones del país (figura 5a, cuadro 2). El máximo valor de intensidad asignado fue de grado VIII en algunos puntos específicos de Puntarenas, Cóbano y Mata de Limón y la mínima sentida en el territorio nacional fue de grado IV.

En el cuadro 2 se presenta el valor de intensidad asignada a cada localidad y la distancia de cada una al epicentro, esta información fue utilizada para la estimación de diferentes relaciones de atenuación y para obtener la configuración de las líneas isosistas, que representan el patrón de atenuación de las ondas sísmicas generadas por el sismo del 25 de marzo (figura 5b).

La distribución de las líneas isosistas sobre el territorio nacional, presentan un patrón bastante uniforme, con una leve elongación de las curvas en la dirección norte y noreste muy posiblemente asociadas a la dirección de radiación de la energía. No se presenta en este caso efectos de microzona, es decir, que en determinadas áreas, alejadas de la zona epicentral, con características de suelos y condiciones

**RED SISMOLOGICA NACIONAL
(R.S.N: I.C.E-U.C.R)**


SISMO DEL 25-03-90.
 MAGNITUD $M_D: 6,5$
 $M_S: 7,0$

10 0 20 50m
 ESCALA GRAFICA.

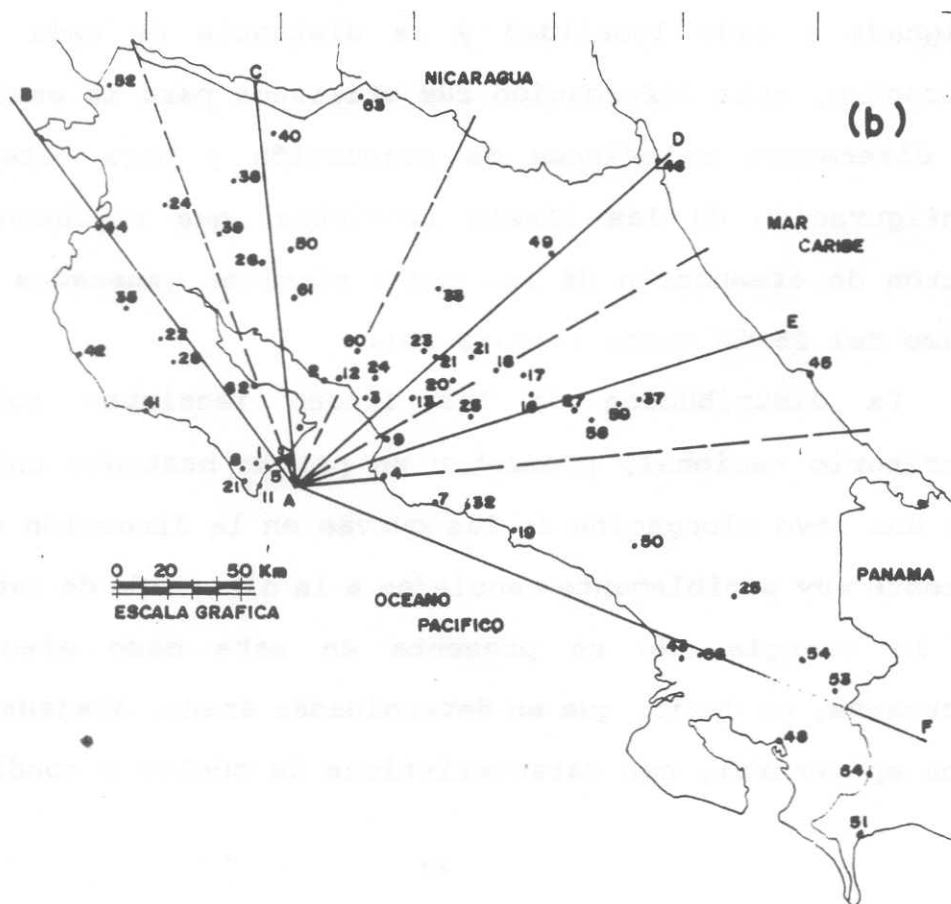


FIG. 5

CUADRO No. 2

ASIGNACION DE INTENSIDADES POR LOCALIDAD

Temblor de Cóbano, Marzo 1990

LOCALIDAD	No.	DIST. AL EPIC. (Km)	I(MM)* ASIGNADA	LOCALIDAD	No.	DIST. AL EPIC. (Km)	I(MM)* ASIGNADA
COBANO	1	19	VII/VIII	LIBERIA	34	126	V
PUNTARENAS	2	42	VII/VIII	SANTA CRUZ	35	100	V
MATA DE LIMON	3	44	VIII	SANTA ROSA DE CUTRIS	36		V
JACO	4	34	VII/VIII	TURRIALBA	37	142	V
COBANO		19	VII	MIRAVALLS	38	126	V
MONTEZUMA	5	13	VII	BAGACES	39	107	V
TAMBOR	6	14	VII	UPALA	40	142	V
ESTERILLOS	7	54	VII	SAMARA	41	68	V
RIO NEGRO	8	22	VII	MARBELLA	42	104	V
TARCOLES	9	39	VII	PUERTO CORTES	43	170	V
TIVIVES	10		VII	PLAYAS DEL COCO	44	132	V
CABUYA	11	16	VII	LIMON	45	213	V
BARRANCA	12	50	VI/VII	BARRA DEL COLORADO	46	197	IV
OROTINA	13	58	VI/VII	SIXAOLA	47	244	IV
PAQUERA	14	22	VI/VII	GOLFITO	48	222	IV
MAL PAIS	15	21	VI/VII	PARRITA		69	IV
SAN JOSE	16	100	VI	PUERTO VIEJO DE SARAPIQUI	49	139	IV
HEREDIA	17	100	VI	PEREZ ZELEDON	50	138	IV
ALAJUELA	18	92	VI	PUERTO ARMUELLES (PANAMA)	51	270	IV
QUEPOS	19	89	VI	LA CRUZ	52	180	III/IV
ATENAS	20	74	VI	SAN VITO	53	234	III/IV
GRECIA	21	86	VI	COTO BRUS	54	218	III/IV
NICOTA	22	81	VI	ALMIRANTE (PANAMA)	55		III/IV
SAN RAMON	23	74	VI	DAVID (PANAMA)	56		III/IV
ESPARZA	24	52	VI	REMEDIOS (PANAMA)	57		II
PURISCAL	25	74	VI	PARAISO	58	121	V
CAÑAS	26	92	V/VI	JUAN VIÑAS	59	134	IV
CARTAGO	27	116	V/VI	MIRAMAR	60	59	VI
HOJANCHA	28	72	V/VI	ABANGARES	61	74	VI
GUATUSO	29		V/VI	JICARAL	62	44	VI
TILARAN	30	95	V/VI	LOS CHILES	63	159	IV/V
PALMARES	31	75	V/VI	PASO CANOAS	64	260	III/IV
PARRITA	32	69	V/VI	BUENOS AIRES	65	182	IV
CIUDAD QUESADA	33	97	V/VI	PALMAR NORTE	66	178	IV

/* FUENTE: Entrevistas telefónicas realizadas por Yancy Fallas, Héctor Flores y Milton Corrales, 26 y 27 de marzo 1990

• Reportes en periódicos La Nación y La Republica, 26-27-28-29 Marzo 1990.

Observaciones de campo del personal de la Red Sismológica Nacional (RSN:ICE-UCR)

geológicas desfavorables, la intensidad sísmica se incrementara anormalmente.

Relaciones de atenuación:

La obtención y utilización de relaciones de atenuación de la intensidad con la distancia, ha sido práctica común en los estudios sismológicos, sobre todo en aquellos donde el dato de aceleración es nulo o muy escaso. Estas relaciones o ecuaciones permiten realizar extrapolaciones sobre el comportamiento que tendrá la variable intensidad con la distancia, siempre y cuando se presenten condiciones similares de ocurrencia.

Para el cálculo de las relaciones de atenuación se utilizó un procedimiento estadístico, denominado estimación lineal de regresión, el cual permite obtener el grado de relación entre las variables, determinando el grado de asociación entre las mismas, y en base a los datos de la muestra de observaciones recolectadas (distancias epicentrales e intensidades) conocer el comportamiento general de atenuación de la señal sísmica en la zona o área geográfica de estudio. Este procedimiento es un modelo de regresión que relaciona en una forma lineal inversa la intensidad con el logaritmo de la distancia epicentral (R), de tal forma que si aumentamos la distancia, el valor de intensidad disminuirá logarítmicamente, esto es representado por una ecuación de la forma:

$$I = a - b * \text{Log } R$$

donde:

I: es el valor de la Intensidad Mercalli Modificada

a,b: son constantes propias de la ecuación, y dependen, entre otros factores, del tipo de fuente y de factores elásticos de los materiales que controlan la propagación de las ondas sísmicas.

R: distancia epicentral en km

Como paso inicial se obtuvieron relaciones de atenuación de la señal sísmica en diferentes direcciones de propagación de la onda, con respecto al punto de liberación de energía y representativas de áreas geográficas (figura 5b), esto permitió comparar y medir el grado de variación entre una relación y otra y observar el comportamiento característico de atenuación por área geográfica.

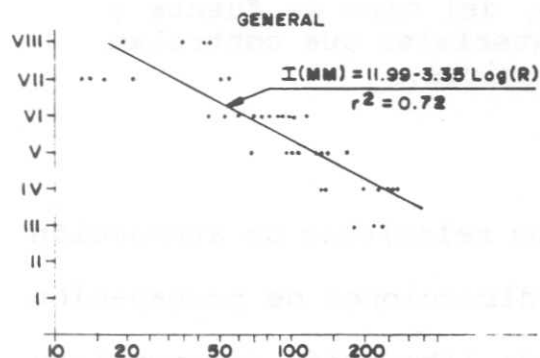
Del análisis de regresión se obtuvieron las relaciones presentadas en el cuadro 3 y cuyas gráficas de regresión se observan en la figura 6.

Con base en el análisis del coeficiente de determinación (r^2), cuyos valores oscilan alrededor de 0,70, se puede considerar que las líneas de regresión obtenidas, explican en un 70% las variaciones de intensidad según se cambie la distancia, representando de la manera más exacta, acorde a los datos disponibles, la relación existente entre I (MM) y el Log R.

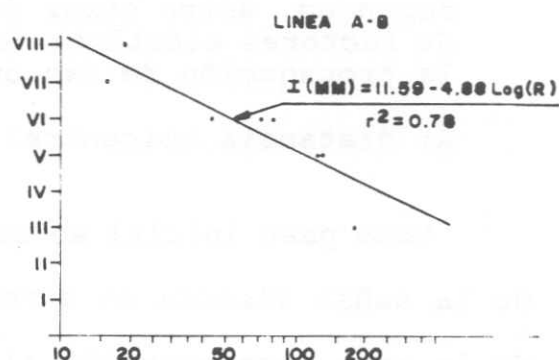
RELACION INTENSIDAD Vrs Log(DISTANCIA EPICENTRAL)

SEGUN DIRECCION DE PROPAGACION DE LA SEÑAL.

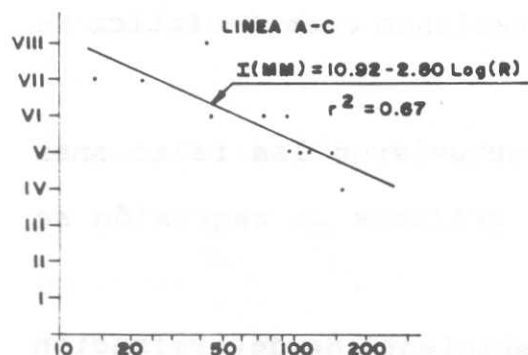
TEMBLOR DE COBANO 25-03-90. $M_L = 6.5$



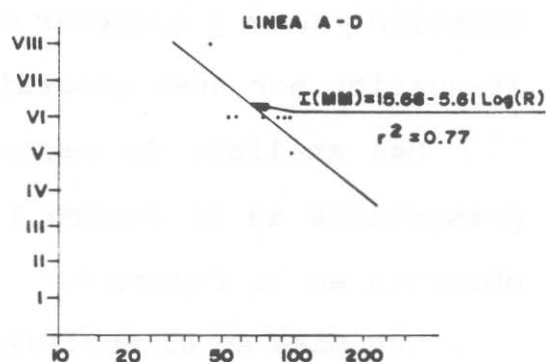
(a)



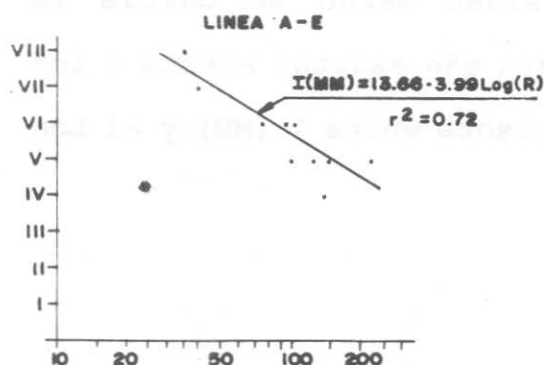
(b)



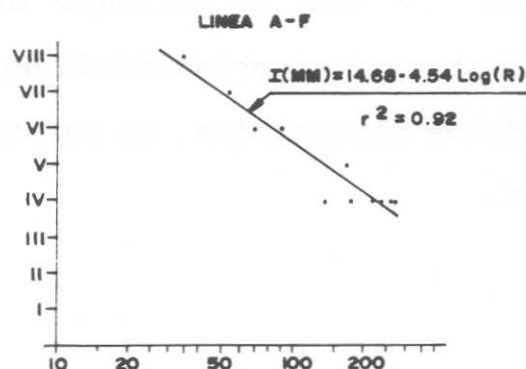
(c)



(d)



(e)



(f)

FIG. 6

CUADRO No.3

RELACIONES DE ATENUACION SEGUN SU ORIENTACION EN BASE AL SISMO DEL 25 MARZO

LINEA	ORIENTACION SEGUN EL EPIC.	RELACION DE ATENUACION	r^2
A-B	N36W	$I(MM)=11,59-3,27 \text{ Log } R$	0,78
A-C	N06W	$I(MM)=10,92-2,80 \text{ Log } R$	0,67
A-D	N47E	$I(MM)=15,68-5,16 \text{ Log } R$	0,77
A-E	N68E	$I(MM)=13,66-3,99 \text{ Log } R$	0,72
A-F	S68E	$I(MM)=14,68-4,54 \text{ Log } R$	0,92
GENERAL		$I(MM)=11,99-3,35 \text{ Log } R$	0,72

Al utilizar cada una de las fórmulas, que aparecen en el cuadro 3, para realizar estimaciones, no se encuentran variaciones bruscas en los resultados como para considerar que las ondas sísmicas se atenúan en forma muy diferente en cada una de las direcciones propuestas.

Realizando estimaciones o cálculos con éstas fórmulas, se encontró que para distancias localizadas a 25 km del epicentro se obtiene valores de intensidad del grado VII a VIII y para distancias de 200 km las intensidades varían alrededor del grado IV, valores que están muy acorde con lo observado, dándole validez a las fórmulas obtenidas.

Finalmente, utilizando todos los datos recolectados y de la comparación con las relaciones particulares, se obtuvo una *relación general. Al ser utilizada para realizar estimaciones se obtienen valores que oscilan entre los máximos y mínimos de

las otras fórmulas, y muy acordes también con los valores observados.

Con las limitaciones del caso para este sismo en particular en todo el país, la ley generalizada de atenuación de la intensidad con la distancia está representada por la relación:

$$I \text{ (MM)} = 11,99 - 3,35 * \text{Log } R$$

En el año de 1952 se presentó en el Océano Pacífico, al sur de Quepos, un sismo con características muy similares, al estudiado en este trabajo, y según Montero y Climent (en prensa), la expresión de la ecuación de atenuación de este sismo es la siguiente:

$$I \text{ (MM)} = 11,84 - 3,60 * \text{Log } R$$

expresión que presenta cierta similitud con la obtenida para el sismo de Cóbano.

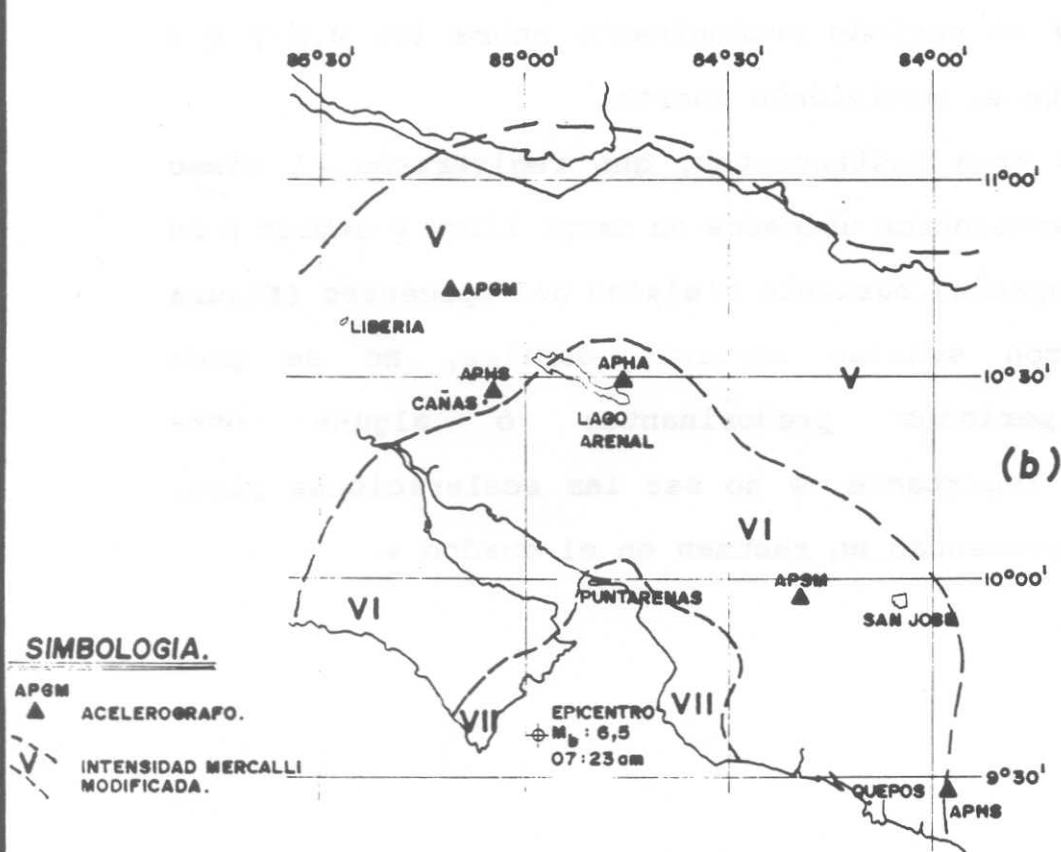
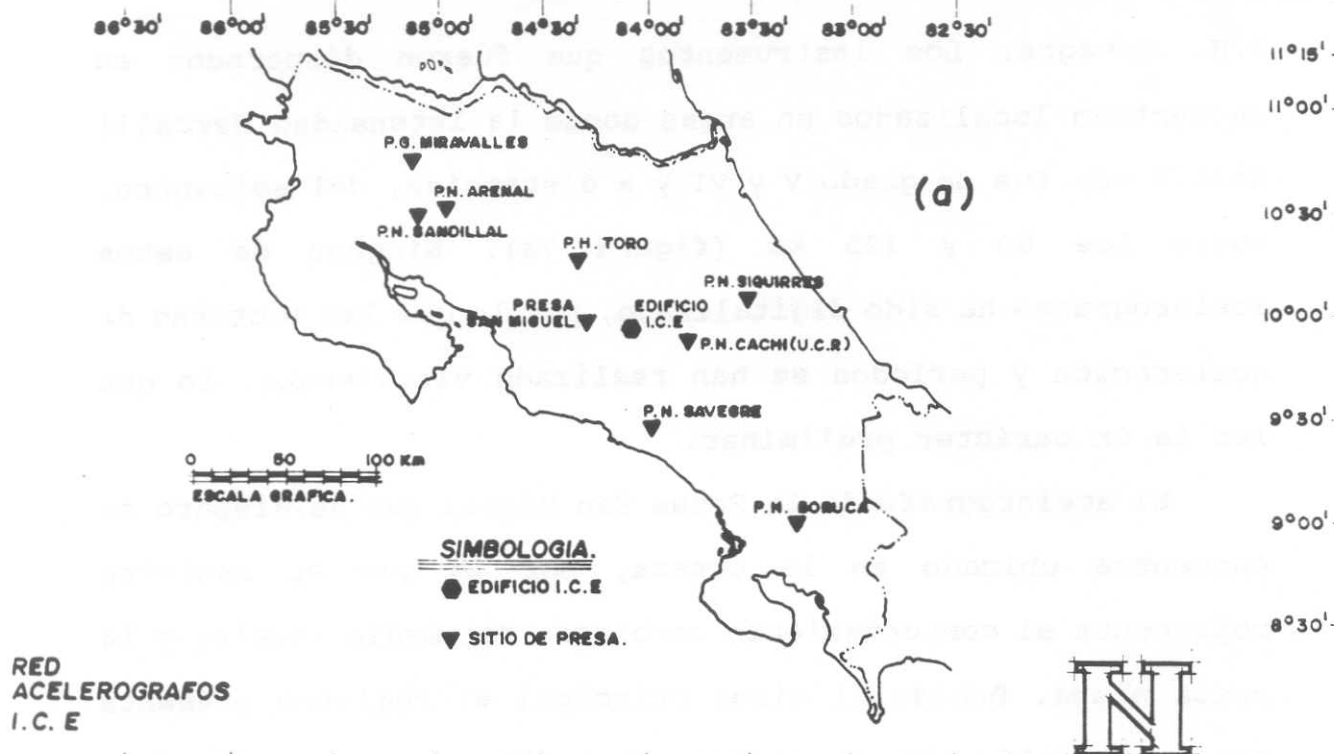
Datos de aceleraciones:

De los sitios instrumentados por el ICE y localizados en las cercanías del área epicentral se obtuvieron cinco acelerogramas, uno relacionado con el evento precursor en la Presa San Miguel, y cuatro con el evento principal registrados en la Presa San Miguel, Presa Sangregado, P.G. Miravalles y

P.H. Savegre. Los instrumentos que fueron disparados se encuentran localizados en áreas donde la Intensidad Mercalli Modificada fue de grado V y VI y a distancias, del epicentro, entre los 80 y 125 km (figura 7a). Ninguno de estos acelerogramas ha sido digitalizado, por lo que las lecturas de aceleración y períodos se han realizado visualmente, lo que les da un carácter preliminar.

El acelerógrafo de la Presa San Miguel que se disparó se encuentra ubicado en la cresta, por lo que su registro representa el comportamiento combinado del medio (suelo) y la presa misma. Debido al sismo principal el registro presenta una aceleración pico horizontal de 0,112 g, una duración de 6 a 7 segundos y un período predominante entre los 0,2 y 0,3 segundos durante el movimiento fuerte.

Los otros tres instrumentos, que registraron el sismo principal, se encuentran ubicados en campo libre y debido a su distribución espacial bastante alejados del epicentro (figura 7b), registraron señales bastante débiles, no se pudo determinar, períodos predominantes o alguna otra característica importante, a no ser las aceleraciones pico, las cuales se presentan en resumen en el cuadro 4.



MAPA DE ISOSISTAS TEMBLOR DEL 25-03-90 Y UBICACION DE ACELEROGRAFOS ACTIVADOS A RAIZ DE ESTE TEMBLOR.

FIG.7

CUADRO 4

RESUMEN DE ACELERACIONES PICO EN CADA SITIO

SITIO DE REGISTRO	DIST.SITIO-EPIC. KM	ACEL.PICO (%g)		
		HORZ.		VERT.
SISMO 13:16 EVENTO PRECURSOR				
Cresta presa de enrocamiento San Miguel	80	4,5	2,8	2,4
SISMO 13:23 EVENTO PRINCIPAL				
Cresta de Presa San Miguel	80	11,2	10,9	5,8
P.H.Savegre Campo libre	110	2,8	-	1,0
Presa Sangregado pie de presa de enrocamiento	110	3,2	3,9	2,0
P.G.Miravalles Campo libre	125	6,9	5,9	- -

/Fuente: Climent (1990a)

**Comparación de los datos instrumentales con estimaciones
teóricas de la aceleración:**

En aquellos países donde no se cuenta con un amplio banco de acelerogramas (tal es el caso de Costa Rica) se ha generalizado utilizar relaciones semiempíricas de atenuación de la aceleración, obtenidas en otras partes del mundo, y que generalmente tienen como expresión básica la forma:

$$A = b e^{c \cdot M} / (R + d)$$

donde:

A: aceleración

M: magnitud

b, c, d, e: constantes

R: distancia epicentral en km

La utilización de estas relaciones en estudios de amenaza sísmica permiten obtener mapas de isoaceleración, como los utilizados en el Código Sísmico de Costa Rica.

Las relaciones de atenuación son expresiones que relacionan magnitud, distancia y aceleración de un sismo, de aquí la importancia de los acelerogramas obtenidos durante el sismo del 25 de marzo de 1990, ya que en un futuro cercano, al disponer de mayor información, podremos contar con relaciones de atenuación para nuestras propias condiciones geológicas y sismológicas, sin olvidar por supuesto el uso directo de los registros de acelerogramas en ingeniería sismoresistente.

Con los datos obtenidos del sismo del 25 de marzo de 1990 no es posible obtener todavía una relación lo suficientemente confiable para el país, pero sí podemos comparar los mismos con valores estimados por medio de algunas relaciones empíricas de uso generalizado y ver el grado de utilización de las mismas para nuestro país.

En el cuadro 5 se presenta el valor de aceleración pico horizontal, registrado en cuatro sitios diferentes y el valor estimado, estos presentan cierta dispersión con respecto al dato instrumental, mostrándose un poco más uniforme en sus cálculos la relación propuesta por Campbell (1981), calculada

en base a un grupo de sismos de todo el mundo, sin que esto signifique que sea la relación que debe utilizarse en Costa Rica, simplemente es una comparación que se ha realizado con los datos disponibles en este momento, y que deberá ser ampliada al futuro cuando se cuente con más información.

CUADRO 5
VALORES DE ACELERACION REGISTRADOS Y ESTIMADOS
en porcentajes de la aceleración de la gravedad (g)

FUENTE DE DATOS	SITIO DE REGISTRO			
	GEOLOGIA UCR**	PRESA SANGREG	P.G. MIRAV.	P.H. SAVEGRE
Instrumental	7,5	3,9	6,9	2,8
Campbell (1981)	4,2	3,8	4,2	3,3
Milne y Davempport (1969)	2,9	2,2	1,7	2,9
Murphy y O'Brien (1977)	5,0	5,0	3,3	4,7
Donovan (1973)	3,8	3,4	2,9	3,8
Esteva y Villaverde (1979)	5,0	4,4	3,7	5,0
Sauter (1979)	5-10	5-10	< 5	5-10
Valores máximos probables*	30,0	27,0	22,0	35,0

** Fuente IINI, UCR.

* Código Sísmico de Costa Rica (1986)

En el cuadro 5 también se presentan los rangos de aceleración propuestos por Sauter (1979) en base al grado de Intensidad Mercalli Modificada asignada al sitio en particular. En este caso, los valores registrados varían con respecto a los valores propuestos, a excepción del valor pico de aceleración obtenido en el Edificio de Geología, U.C.R. Muy

posiblemente estas variaciones son debidas al efecto de las condiciones locales del sitio analizado, las cuales no están siendo consideradas en este trabajo.

Las aceleraciones pico obtenidas en todos los sitios de registro presentan valores mucho más bajos, a los valores de aceleración máximos probables para diferentes períodos de retorno propuestos en el Código Sísmico de Costa Rica (1986), o sea que al utilizar como mínimo las normas del código, toda construcción planeada y ejecutada con la supervisión de un ingeniero civil, debió de soportar los efectos del sismo.

Conclusiones:

El sismo de Cóbano fue sentido en todo el país, las intensidades máximas (Mercalli Modificada) reportadas fueron de grado VII y VIII para el área epicentral y mínimas de IV en los sitios más alejados del país.

Según los reportes macrosísmicos recolectados, la presencia de colapso total en viviendas y daños severos en estructuras mayores se concentran básicamente en el área epicentral y son debidos en su mayoría a malos métodos constructivos.

Las curvas isosistas presentan un patrón homogéneo de decaimiento de la intensidad con la distancia, sin la presencia de microzonas.

De la utilización del dato de intensidad I (MM) asignado a las observaciones macrosísmicas, se determinó la siguiente relación general de atenuación para este sismo en particular:

$$I \text{ (MM)} = 11,99 - 3,35 * \text{Log } R$$

De los datos obtenidos y analizados de los acelerogramas, se concluye que al utilizar como mínimo las normas de diseño propuestas en el Código Sísmico de Costa Rica, toda construcción planeada y ejecutada con las mismas, debió de soportar perfectamente las cargas sísmicas generadas por este sismo. En este caso no se consideraron los efectos locales de los sitios de registro.

CAPITULO 3

INTERPRETACION SISMOTECTONICA DE LA REGION

DEL GOLFO DE NICOYA

WALTER MONTERO
ILEANA BOSCHINI

Métodos de análisis:

Se ha aplicado el método de Mendiguren (1980) para definir las zonas con mecanismos de ruptura compatibles. Se han escogido para realizar este análisis los sismos de calidad A ó B, ocurridos entre el 25 y el 30 de marzo de 1990, cuyas localizaciones hayan incorporado estaciones portátiles con magnitudes $M_L \geq 2,4$ o sismos localizados con las estaciones de la red permanente, con magnitudes $M_L \geq 2,9$. El análisis se realizó únicamente para el período indicado, considerando que durante el mismo, se incorporan los eventos cuyo mecanismo se relacionan directamente con el proceso de ruptura característico del sismo principal.

Resultados:

Se han establecido nueve subregiones cuya distribución de polaridades para la onda P es similar (Fig. 8). El mecanismo focal compuesto se ha podido establecer para cada una de ellas. Sus características se describen a continuación:

DELIMITACION DE SUBREGIONES Y MECANISMOS FOCALES

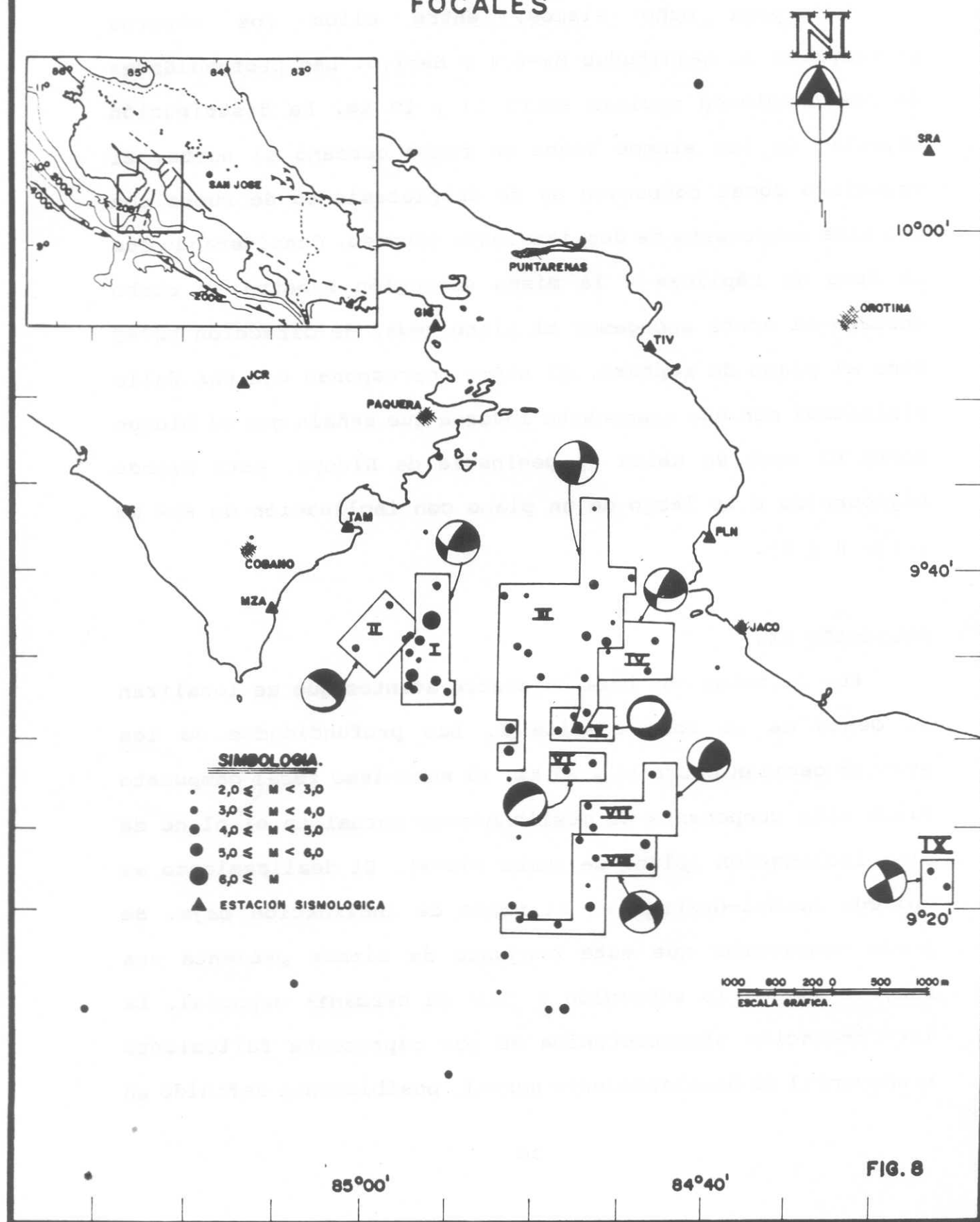


FIG. 8

SUBREGION I

Incorpora ocho sismos, entre ellos los eventos principales de magnitudes $M_s=6,4$ y $M_s=7,0$. Las profundidades de los temblores oscilan entre 13 y 29 km. La distribución espacial de los sismos tiene un rumbo cercano al norte. El mecanismo focal compuesto es de desplazamiento de rumbo con una alta componente de deslizamiento inverso. Considerando que el área de réplicas y la misma subregión muestra un rumbo cercano al norte escogemos el plano nodal de dirección $N27^\circ E$ como el plano de ruptura. El mismo corresponde con una falla sinistral con una componente inversa que señala que el bloque sobre el cual se ubica la península de Nicoya, está siendo bajocorrido a lo largo de un plano con inclinación de 68° NW (Fig. 8 y 9).

SUBREGION II.

Fue definida con base en cuatro eventos que se localizan al oeste de la zona sísmica I. Las profundidades de los eventos oscilan entre 14 y 23 km. El mecanismo focal compuesto tiene alta componente de deslizamiento normal en el plano de alta inclinación (plano de rumbo $N45^\circ W$). El deslizamiento es oblicuo normal-dextral en el plano de inclinación baja. Se puede considerar que este conjunto de sismos presenta una asociación con la subregión I dada su cercanía espacial. La interpretación sismotectónica es que representa fallamiento transversal de desplazamiento normal, posiblemente definido en

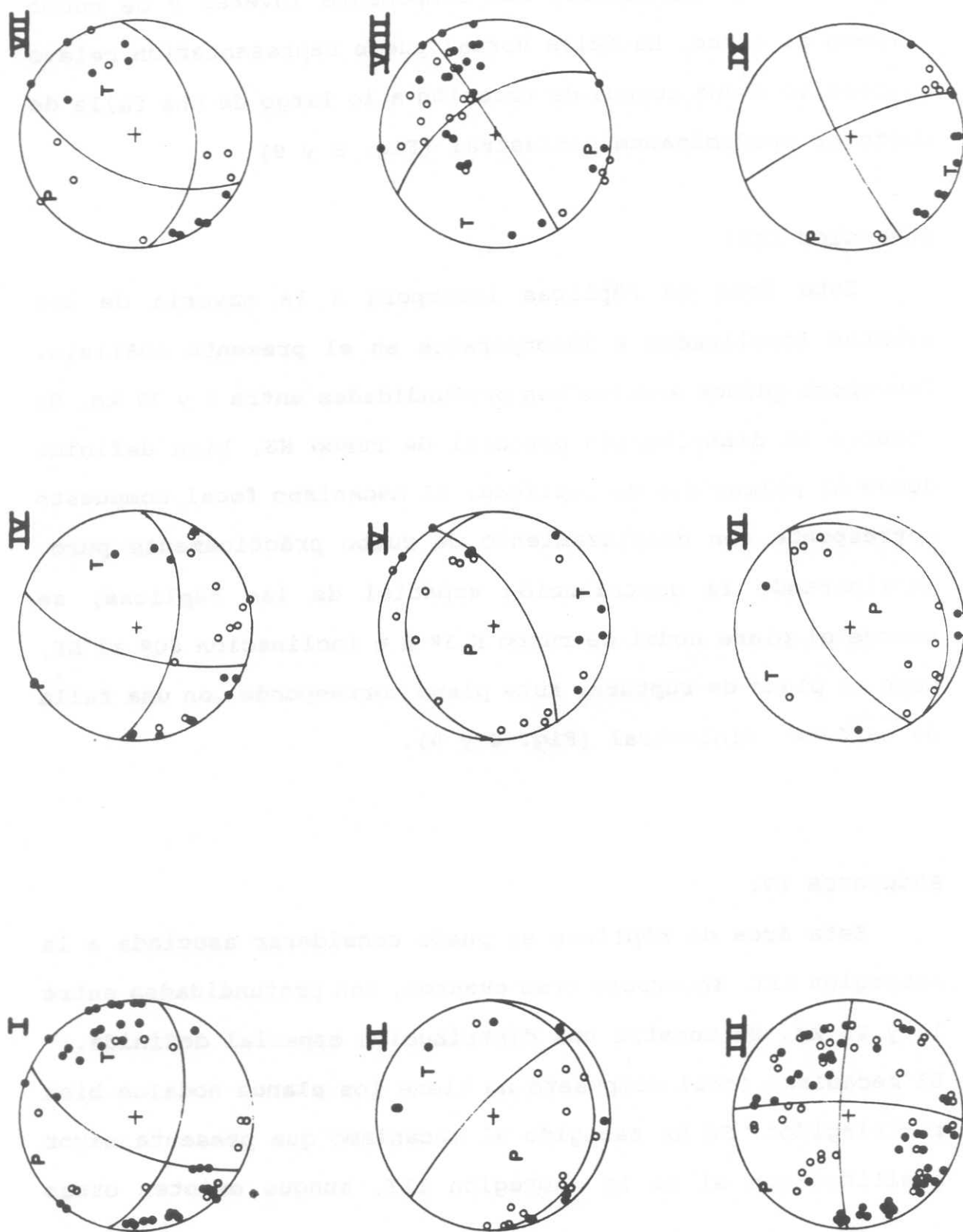


FIG. 9

el plano de alta inclinación, respecto a la falla de desplazamiento sinistral con componente inversa y de rumbo cercano al norte. La falla normal puede representar un relevo distensivo ó una cuenca de tracción a lo largo de una falla de carácter predominante sinistral (Fig. 8 y 9).

SUBREGION III:

Esta área de réplicas incorpora a la mayoría de los eventos localizados e incorporados en el presente análisis. Incorpora quince eventos con profundidades entre 2 y 37 km. Se observa la distribución espacial de rumbo NS, bien definida desde el primer día de réplicas. El mecanismo focal compuesto corresponde con desplazamiento de rumbo prácticamente puro. Considerando la distribución espacial de las réplicas, se escoge el plano nodal de rumbo N 3° E e inclinación 80° al SE, como el plano de ruptura. Este plano corresponde con una falla de carácter sinistral (Fig. 8 y 9).

SUBREGION IV:

Esta área de réplicas se puede considerar asociada a la subregión III. Incorpora tres eventos, con profundidades entre 17 y 25 km. No muestra una distribución espacial definida. El mecanismo focal compuesto no tiene los planos nodales bien restringidos. Se ha escogido el mecanismo que presenta mayor similitud con el de la subregión III, aunque existen otras

soluciones posibles con mayores componentes de desplazamiento normal que el mostrado. El mecanismo escogido tiene una componente de desplazamiento normal que no se observa en el mecanismo de la subregión II; pero el tipo de desplazamiento de rumbo que se presenta en ambas regiones es similar (Fig. 8 y 9).

SUBREGION V:

Esta zona consideramos presenta una relación estrecha con la subregión III. Sin embargo, dado que únicamente está definida con base en tres eventos, su significado tectónico es debatible. Las profundidades de los eventos están entre 6 y 27 Km. El mecanismo focal compuesto esta bien restringido en sus planos nodales (Fig. 8 y 9). Presenta un mecanismo de falla normal ó la presencia de una especie de cuenca de tracción asociada a una falla de rumbo de carácter siniestral. El rumbo de los planos nodales estaría de acuerdo con esta interpretación, dado que el rumbo de estas fallas es transversal al rumbo de las fallas de desplazamiento de rumbo.

SUBREGION VI:

Este grupo de sismos consideramos presenta una íntima relación con las zonas sísmicas III y V. Tres sismos con profundidades entre 14 y 28 km definen esta subregión. El mecanismo focal compuesto tiene ambos planos nodales relativamente bien restringidos (Fig. 8 y 9). El fallamiento

que se deduce es de desplazamiento normal puro, con planos nodales de rumbo N 60° E. La interpretación sismotectónica nuevamente es que estamos en presencia de un relevo distensivo ó de una cuenca de tracción a lo largo de falla de rumbo siniestral.

Se puede sugerir que podría ser la misma que se define en la subregión V, pero en el presente caso nos estaríamos ubicando espacialmente en el borde sur de la estructura tensional. El mecanismo focal es bastante similar al de la anterior zona sísmica, por lo que la interpretación sismotectónica realizada para ambas, se refuerza mutuamente.

Ambas subregiones no se pueden combinar porque difieren sustancialmente en el valor del ángulo de inclinación de los planos nodales que se inclinan en el mismo sentido, aunque el rumbo de los planos nodales es idéntico.

*** SUBREGION VII:**

Esta zona sísmica esta definida con base en cuatro eventos cuyas profundidades oscilan entre 3 y 24 km. La escasa cantidad de sismos no permite definir una distribución espacial de los mismos. Además, dado que estos eventos se localizan fuera de la región de cobertura de la red, se considera que sus localizaciones son menos confiables. El mecanismo focal compuesto es nuevamente de tipo de desplazamiento de rumbo con una componente importante de desplazamiento inverso. El mecanismo es sumamente similar al

del grupo I. Defiere del grupo III en el valor del ángulo de desplazamiento dado que el último es transcurrente bastante puro. Sin embargo, consideramos que se puede suponer que esta zona representa la extensión hacia la fosa de la falla siniestral que define el grupo III, por lo cual suponemos que el plano nodal de rumbo cercano al N, corresponde con el plano de ruptura (Fig. 8 y 9).

SUBREGION VIII:

Este grupo está definido con base en ocho sismos con distribución espacial débil al NE y con profundidades que oscilan entre 1 y 30 km. El mecanismo focal compuesto es similar a los de las subregiones I, III y VII, siendo un mecanismo con predominancia de desplazamiento inverso en el plano de rumbo N 58° E. Sin embargo, defiere respecto a los anteriores en el rumbo de los planos nodales, dado que en el presente grupo, el plano con desplazamiento siniestral por ejemplo, tiene un rumbo más hacia el este respecto a las otras regiones sísmicas. Existe por lo tanto, una rotación de los ejes de esfuerzos, en este caso con un rumbo prácticamente N-S para el eje de presión, mientras que en los grupos anteriores este eje tenía un rumbo hacia el N30 °W (Fig. 8 y 9).

SUBREGION IX:

Corresponde con dos eventos aislados localizados al este del área de ruptura. Las profundidades de estos eventos son de

21 y 26 km. Un mecanismo focal compuesto con planos nodales poco restringidos, sugiere desplazamiento de rumbo con planos nodales orientados de manera similar respecto a las zonas sísmicas I, III y VII. En este caso, el plano de desplazamiento siniestral tiene un rumbo al NNW y el eje de presión está rotado al W respecto a las otras zonas sísmicas. Debemos indicar sin embargo, que estos eventos se localizan fuera de la cobertura de la red (Fig. 8 y 9).

Discusión:

El ambiente tectónico donde ocurrió el sismo de Cóbano presenta características especiales. La entrada del Golfo de Nicoya representa la región donde la joven litosfera generada en la dorsal de los Galápagos comienza a subducirse bajo el continente. La colisión de esta zona, térmicamente expandida y morfológicamente levantada arriba del piso oceánico adyacente al W, con el margen continental, origina deformaciones de diferente naturaleza que se traducen en fallamiento, levantamiento y basculamiento a tasas relativamente altas especialmente hacia el extremo SE del país, donde el levantamiento del Coco se superpone en la joven estructura de la litosfera oceánica (Wells et al, 1988).

Corrigan et al. (1990) han analizado el efecto de esta colisión, especialmente en el sector antearco del país, sugiriendo que la región marina que se localiza al sur de la

península de Nicoya presenta un sistema de fallamiento transversal a la fosa y con movimiento siniestral.

Hacia al lado continental de esta región se han definido fallas con rumbo NE, similar al propuesto en el área marina (Madrigal, 1970; Baumgartner et al., 1984). Nuestra propuesta es que el terremoto del 25 de marzo de 1990 ($M_s=7,0$) fue originado en este sistema de fallas que hemos denominado Tortugas. El modelo sismotectónico (Fig. 10) propone que el evento principal ocurrió en la falla oeste del sistema. La actividad de esta falla interactuó con los sistemas de fallas aledañas, especialmente con una falla de rumbo cercano al N que se ubica al este de la anterior. Aunque en esta falla no se originaron sismos de magnitud superior a $M_s=5,0$, la actividad de esta falla es bastante conspicuo al nivel de magnitud menor a 5,0, incluso en los períodos anteriores a la ocurrencia del sismo del golfo de Nicoya (Morales, 1983; Morales y Montero, 1984). El fallamiento normal encontrado • mediante diferentes mecanismos focales con rumbos paralelos a la fosa, se explican en el modelo como resultado de zonas distensivas asociadas a cambios en el rumbo de las fallas principales. La presencia de cuencas en esta región, esta bien documentada mediante estudios de sismica de reflexión realizados en esta zona marina (Astorga et al, en prensa).

**RED SISMOLOGICA NACIONAL, ICE-UCR.
MAPA DE EPICENTROS DE COSTA RICA.
AMPLIACION.**

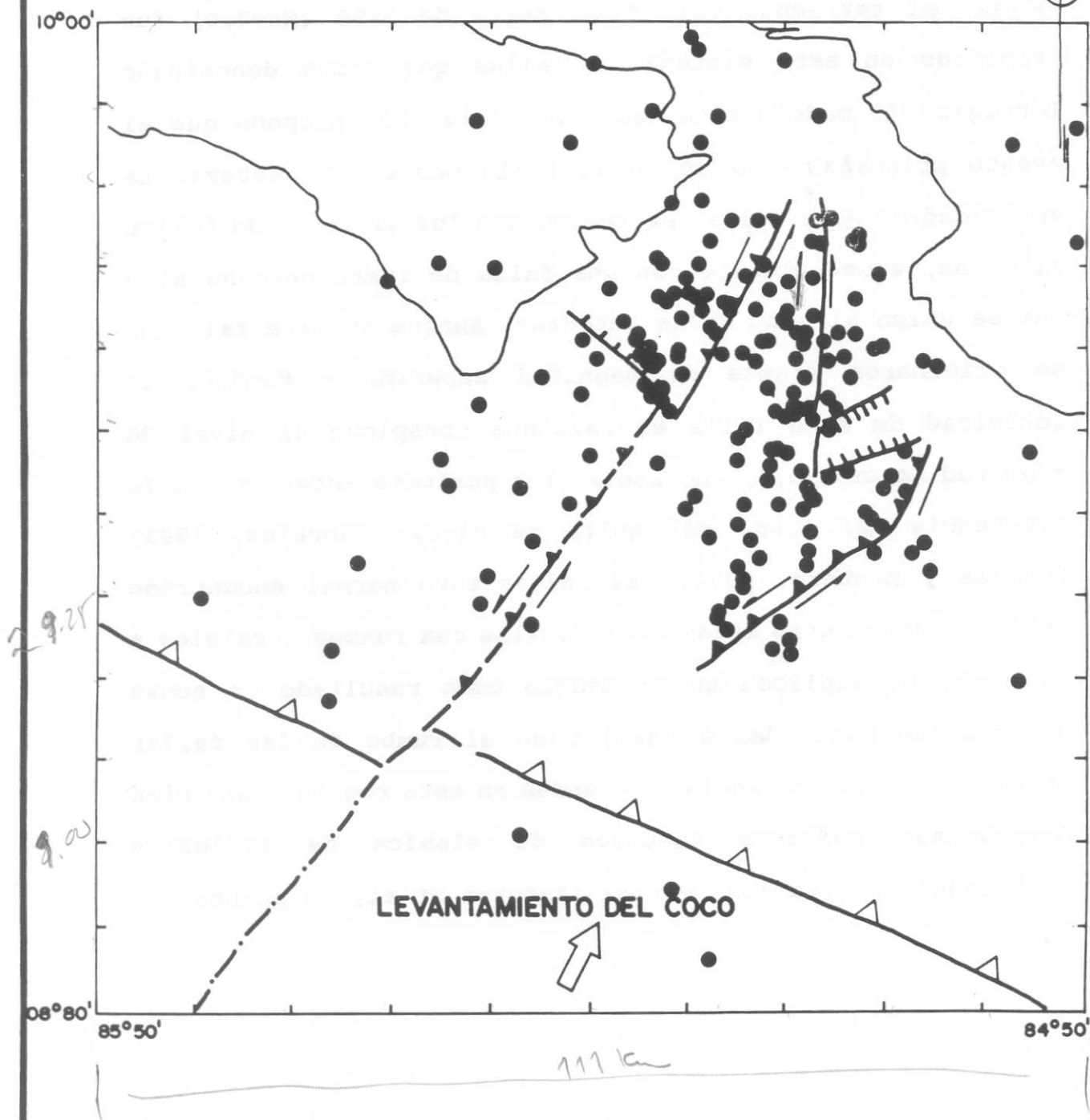


FIG. 10

CAPITULO 4

ACTIVIDAD SISMICA RELACIONADA CON EL SISMO DE COBANO

RAFAEL BARQUERO
WALTER MONTERO
WILFREDO ROJAS

Introducción:

Uno de los fenómenos que más llamaron la atención después de que sucedió el sismo de Cóbano fue la ocurrencia, en algunos casos inmediata, de actividad sísmica en una serie de fallas localizadas en regiones geográficamente diferentes y en algunos casos bastante separadas entre sí. La sismicidad se presentó con niveles de actividad por encima de lo normal y en varios de los casos se había presentado una tranquilidad sísmica durante los meses anteriores a la ocurrencia del sismo del 25 de marzo de 1990.

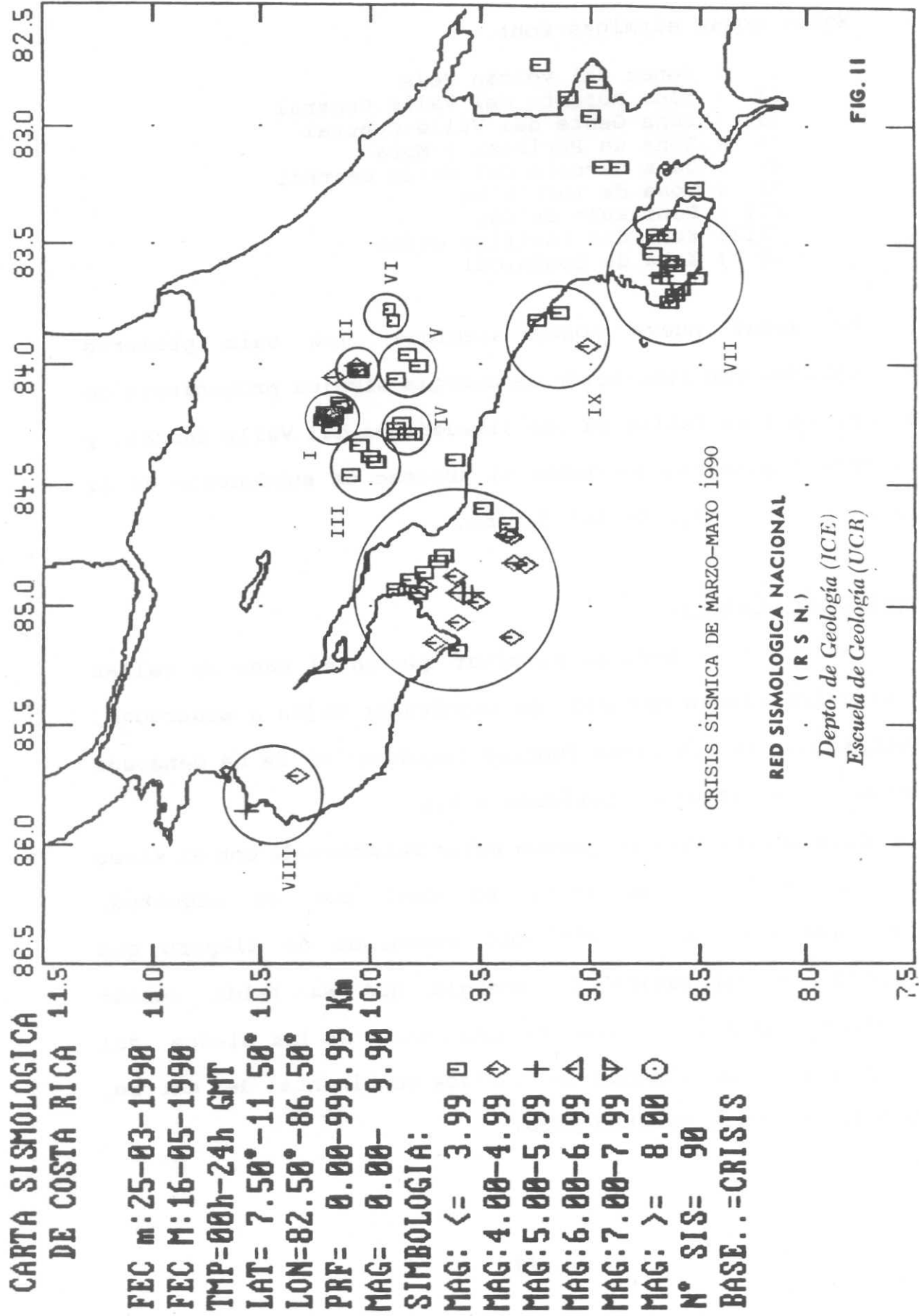
Entre los sistemas de fallas que mostraron actividad, se encuentran los asociados al proceso de subducción, donde se ubicaron epicentros tanto al NW (zona fronteriza Costa Rica-Nicaragua) como al SE (cerca de Dominical) del área de ruptura del golfo de Nicoya y al interior de la placa Caribe especialmente hacia la región central-sur del arco interno; es decir, cerca del cráter activo del volcán Poás, en la región de los cerros Zurquí y Bajo de la Hondura, en la zona de Corralillo-Bermejo-Patarrá en el sistema de fallas asociado al sistema Agua Caliente-Orosi, al sur de Atenas y la actividad sísmica de Puriscal, donde se generó una sismicidad cuya

característica más relevante la gran cantidad de energía sísmica liberada. Por lo tanto, la actividad sísmica periférica a la zona de ruptura del Golfo de Nicoya cubrió los principales bordes tectónicamente activos del país.

En relación al tiempo transcurrido entre el terremoto del 25 de marzo de 1990 y la actividad sísmica periférica se puede observar dos patrones temporales: 1) Actividad simultánea o casi inmediata y 2) Actividad sísmica retardada. En relación a la primera tenemos como casos los temblores cercanos al volcán Poás, la actividad de Puriscal, la actividad del sur de Atenas, Patarrá, Cerros Zurquí-Bajo de La Hondura y cerca de Dominical. Respecto a la segunda tenemos como ejemplo, el sismo de San Juan del Sur, zona fronteriza Costa Rica-Nicaragua, la sismicidad de Dominical y la de la zona de Turrialba. En algunas de las regiones anteriores la actividad se prolongó durante un período de algunos meses, aumentando y disminuyendo frecuentemente como el caso de Puriscal.

Zonas sísmicas:

Dentro de las siete semanas posteriores al temblor del 25 de marzo de 1990, se registró actividad sísmica de importancia en nueve diferentes zonas del país, además de la propia zona del Golfo de Nicoya (Fig. 11).



Estas zonas sísmicas son:

- I : Zonas del volcán Poás
- II : Zona Noreste del Valle Central
- III : Zona Oeste del Valle Central
- IV : Zona de Puriscal y Mora
- V : Zona Sureste del Valle Central
- VI : Zona de Turrialba
- VII : Península de Osa
- VIII: Zona del Pacífico Norte
- IX : Zona de Dominical

De estas nueve zonas sísmicas, las seis primeras corresponden con liberación de energía sísmica proveniente de la actividad de fallas en los alrededores del Valle Central y las tres siguientes se deben al proceso de subducción de la Placa del Coco bajo la del Caribe.

Magnitudes máximas:

Del cuadro 6 podemos observar que en el caso de fallas locales los sismos han sido de magnitudes bajas a moderadas, mientras que en las otras fuentes (subducción) se ha generado sismos de magnitudes superiores a 5,0.

Esta crisis sísmica parece estar relacionada con el sismo del 25 de marzo de 1990, el cual por su magnitud, relativamente alta, sirvió como mecanismo de disparo que propició la liberación de energía que se había venido acumulando tanto en la zona de interacción de las placas del Coco y Caribe como también en la placa continental del Caribe, sobre la que yace nuestro país.

CUADRO No. 6

MAGNITUDES MAXIMAS

ZONA	MAG. MAX.	FECHA	FUENTE SISMICA
NE del Valle Central	4,4	21-08-90	Fallamiento local
Volcán Poás	3,6	19-07-90	Fallamiento local
Atenas-San Ramón-Grecia	3,9	08-04-90	Fallamiento local
Sur de Turrialba	4,4	16-10-90	Fallamiento local
Dominical	4,6	19-09-90	Subducción
SE del Valle Central	3,3	10-07-90	Fallamiento local
Península de Osa	5,2	27-04-90	Subducción
Puriscal	5,7	22-12-90	Fallamiento local
Guanacaste	5,1	16-05-90	Subducción

La placa del Coco, que se introduce bajo la del Caribe, a razón de 9 cm por año, es una de las fuentes sísmicas más importantes de nuestro país. En la zona de interacción de ambas placas se generan esfuerzos que al alcanzar su punto crítico rompen la roca y liberan la energía en forma de ondas sísmicas, que pueden dar lugar a temblores de magnitudes altas (mayores que 7,0 inclusive).

La zona del Valle Central, que es una cuenca tectónica rellena por materiales volcánicos, está rodeada por sistemas complejos de fallas, muchas de las cuales han tenido actividad en tiempos históricos y son capaces de generar temblores con magnitudes hasta de 6,5. Sin embargo, en el arco volcánico son más frecuentes los enjambres sísmicos, es decir, cortos períodos de sismicidad sin un evento principal característico.

Volcán Poás:

La actividad sísmica del volcán Poás durante el mes de marzo de 1990 mostró un incremento con respecto a los meses anteriores. Una clase de señal sísmica típica de este volcán, en los últimos años, han sido los sismos volcánicos tipo B, que son pequeños sismos superficiales de baja frecuencia asociados a pequeñas fracturaciones ocasionadas por la desgasificación y a la súbita conversión de agua a vapor. Estos sismos tipo B registraron un promedio de 338 eventos diarios, para un total de 12 024 en el mes.

También se detectó un incremento importante en el número de sismos de carácter volcano-tectónico o tipo A, los cuales se asocian a rupturas por fallas en zonas cercanas al aparato volcánico. El incremento en los eventos tipo A se presentó especialmente a partir del día 26 de marzo, después del temblor de Cóbano. En marzo se registraron un total de 38 eventos tipo A, con un máximo de 13 eventos el día 29. En abril, hasta el día 15 se registraron un total de 65 sismos tipo A, con un máximo diario de 10 eventos los días 1 y 2, a partir del día 6 desciende el número de eventos y se mantiene a un promedio de 3 eventos por día, todos con magnitudes bajas (menores de 2). De estos sismos ha sido posible localizar con las estaciones de la RSN, un total de 16 eventos mayores (Cuadro 7, Fig. 12), algunos de los cuales fueron reportados como sentidos por los vecinos de poblaciones cercanas al

RED SISMOLOGICA NACIONAL. RSN(ICE·UCR)

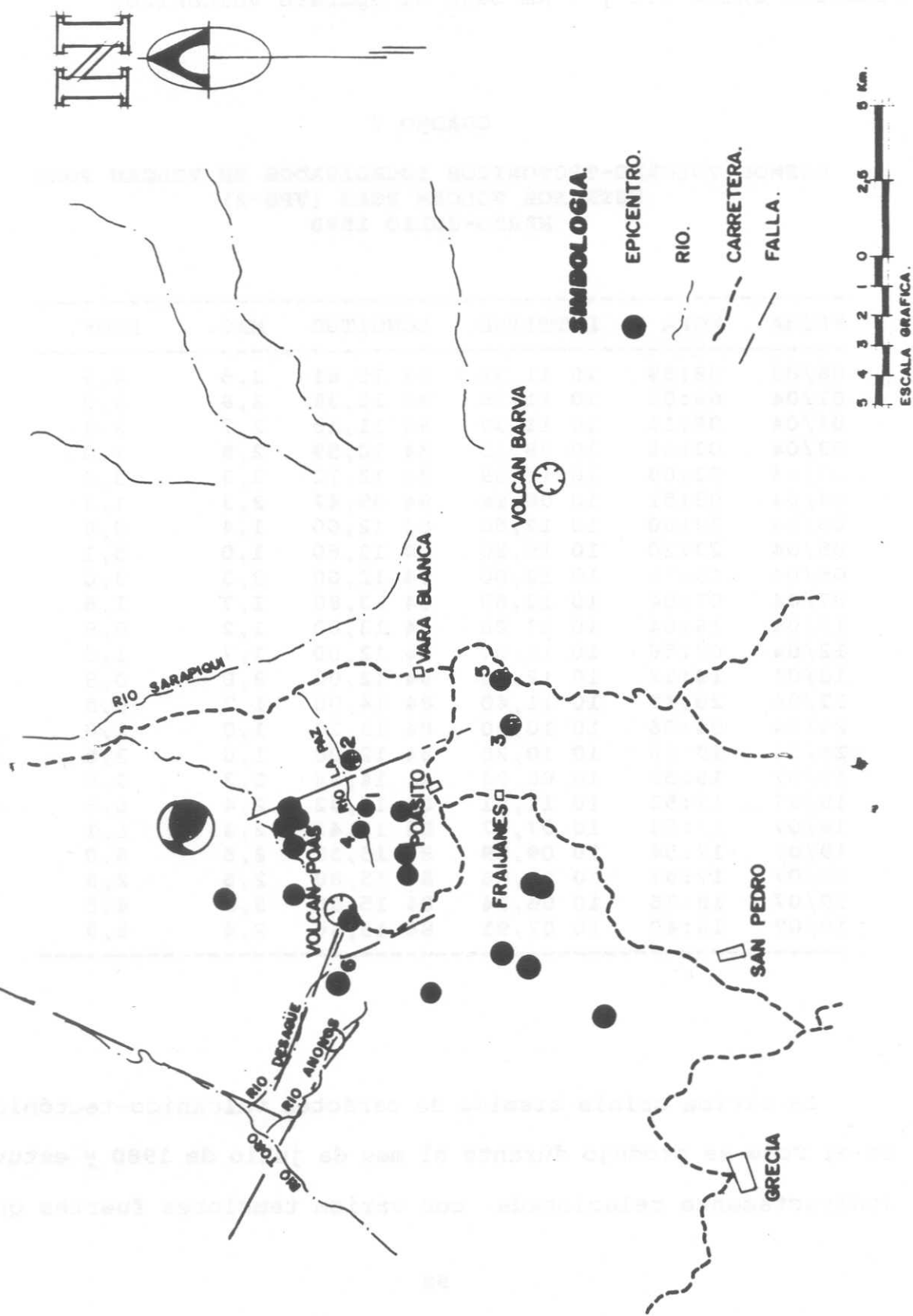


FIG.12

volcán Poás. La magnitud fue de 3,6 y las profundidades oscilan entre 0,5 y 7 km bajo el aparato volcánico.

CUADRO 7

**SISMOS VOLCANO-TECTONICOS LOCALIZADOS EN VOLCAN POAS
ESTACION VOLCAN POAS (VPS-2)
MARZO-JULIO 1990**

FECHA	HORA *	LATTITUD	LONGITUD	MAG.	PROF.
08/03	08:39	10 11,39	84 15,61	2,6	4,5
01/04	08:04	10 11,36	84 12,38	2,8	3,0
01/04	08:11	10 11,39	84 11,15	2,7	3,8
03/04	03:08	10 08,19	84 10,59	2,8	7,0
03/04	03:09	10 11,39	84 12,72	3,3	3,8
03/04	03:51	10 08,68	84 09,47	2,3	1,2
05/04	22:50	10 12,60	84 12,60	1,4	0,8
05/04	23:20	10 10,20	84 12,60	1,0	5,1
06/04	19:39	10 12,00	84 12,60	2,3	3,0
07/04	07:04	10 12,60	84 13,80	1,7	1,5
10/04	18:04	10 13,20	84 13,80	1,2	0,9
12/04	02:56	10 12,00	84 12,00	1,7	1,0
12/04	19:32	10 12,60	84 12,00	2,0	0,9
12/04	20:17	10 11,40	84 14,00	1,7	0,5
26/04	04:06	10 10,20	84 13,20	1,0	1,0
26/04	19:16	10 10,20	84 12,00	1,0	3,5
19/07	15:51	10 08,34	84 14,88	2,3	5,8
19/07	17:53	10 11,51	84 16,32	2,4	6,2
19/07	17:53	10 07,77	84 13,41	2,4	1,1
19/07	17:54	10 09,59	84 15,39	2,6	6,0
19/07	17:57	10 07,96	84 15,80	2,6	2,5
19/07	18:36	10 06,34	84 15,80	3,6	4,5
19/07	18:40	10 07,91	84 13,46	2,4	5,9

La última crisis sísmica de carácter volcánico-tectónico en el Poás se produjo durante el mes de julio de 1980 y estuvo indirectamente relacionada con varios temblores fuertes que

se registraron en el área del Golfo de Papagayo. A raíz de la fracturación en el domo, se dió en ese entonces, exsolución desde abajo de gases de alta temperatura que alcanzaron la superficie y se presentó un aumento importante en la temperatura del domo, ocho y medio meses después, pasando de 92°C en diciembre de 1980 a 960°C entre marzo y noviembre de 1981. Dado que las investigaciones geomagnéticas confirmaron que el aumento de temperatura afectó solamente una zona restringida y superficial alrededor de la cúpula lávica, se desestimó que el aumento de temperatura pudiera estar relacionado con la subida de magma (Casertano et. al., 1985).

El sistema volcánico del Poás es hidro-sulfuro-termal, que incluye un cuerpo magmático somero con descarga gaseosa rica en azufre por vesiculación, enfriado por agua meteórica del acuífero local superficial.

Con base en campañas de mediciones microgravimétricas y cambios detectados de este parámetro, Brown et al. (1989) y Rymer y Brown (1989) interpretan un ascenso de un pequeño cuerpo magmático desde unos 500 m hasta unos 200 m bajo la laguna, que aumentó la pérdida térmica en el área, desde 160 ± 50 MW en 1985 a 265 ± 100 MW en 1988. El ascenso magmático habría ocurrido entre 1985-86. Las últimas medidas gravimétricas a principios de 1990 no muestran más movimiento magmático en el último año (Rymer, com. verbal a Soto, marzo 1990). Los cambios microgravimétricos podrían ser el resultado, no obstante, de cambios en la circulación del agua

fría-vapor bajo el domo y la laguna, sin implicar cambios en el cuerpo caliente (D. Stevenson, com. escrita a Soto, enero 1990). Bajo estas perspectivas, no cabe esperar cambios significativos en el comportamiento del volcán a corto plazo, salvo los comentados anteriormente.

Zona noreste del Valle Central:

Después del día 25 de marzo de 1990 se registró actividad sísmica en la zona noreste del Valle Central que pudo ser percibida por la mayoría de sus habitantes. Las características de los eventos localizados se resumen en el cuadro 8.

CUADRO 8

SISMOS DEL NE DEL VALLE CENTRAL, 1990

DIA	HORA	LAT	LONG	PROF	MAG
27 Mar	23:05	10 03,16	84 01,83	19,0	3,6
28 Mar	00:47	10 04,26	84 01,51	15,4	4,0
28 Mar	14:31	10 04,40	84 01,47	17,0	3,0
31 Jul	09:18	09 58,84	84 01,10	09,2	3,2
21 Ago	19:15	10 04,56	83 56,91	10,7	4,4
26 Ago	01,07	10 02,47	83 59,30	16,2	3,8

Para el evento principal que se registró en esta zona se determinaron las siguientes intensidades (MM):

IV: Cascajal de Coronado

III: San Pedro de Montes de Oca, Rancho Redondo, Llano Grande, Tibás, Desamparados

II-III: Bo. Jesús de Heredia

II: Vara Blanca

En Cascajal de Coronado se reportó que se escuchó un sonido antes del temblor, lo que indica que el evento ocurrió muy cerca de dicho lugar y a poca profundidad.

Previo a la actividad sísmica registrada en la zona NE del Valle Central en marzo y agosto de 1990, hay registro de actividad sísmica tipo "enjambre" en agosto de 1987 (Boschini, 1988). En esa ocasión se localizaron nueve eventos sísmicos que se presentan en el cuadro 9.

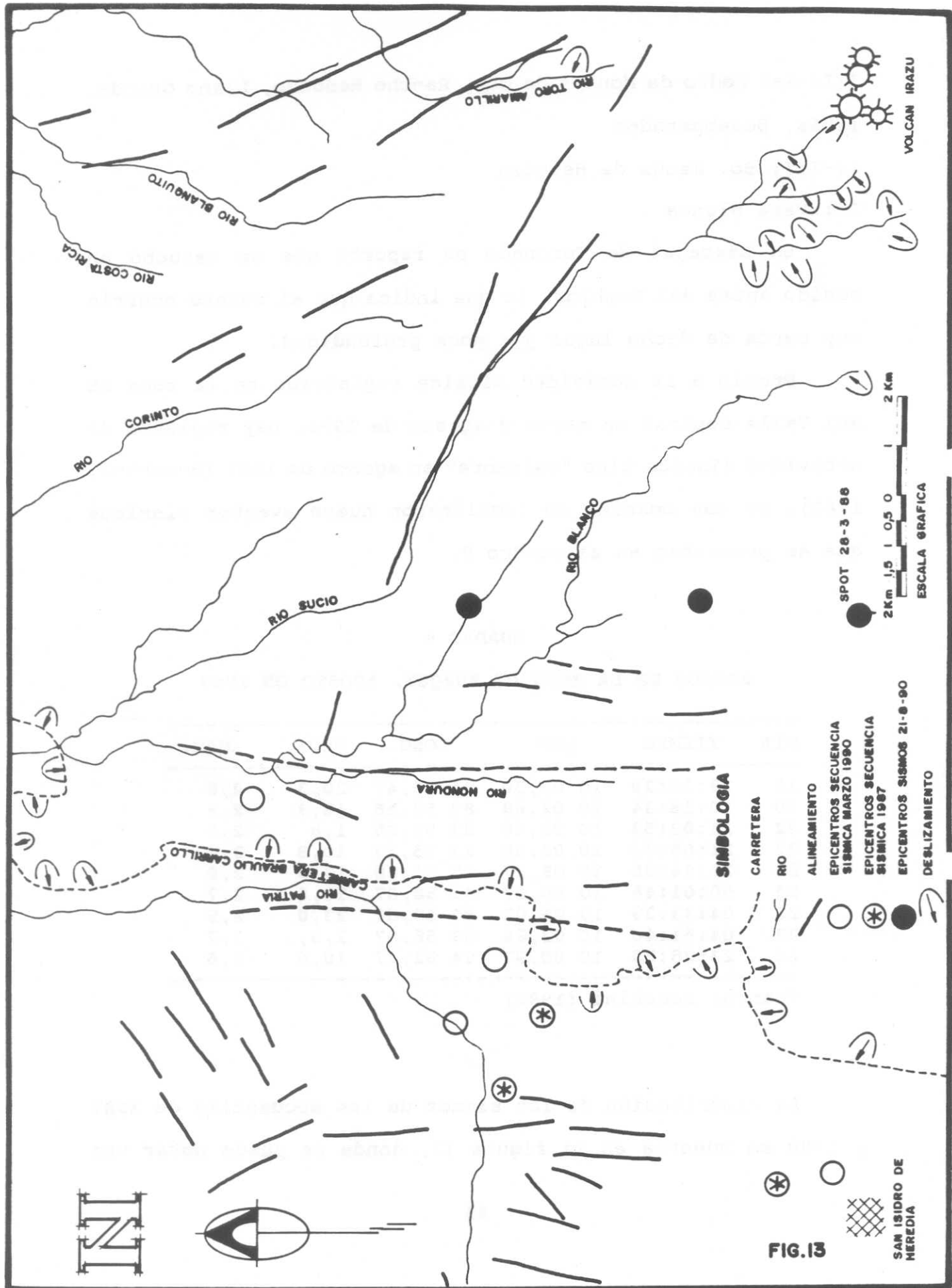
CUADRO 9

SISMOS DE LA ZONA DE ZURQUI, AGOSTO DE 1987

DIA	TIEMPO	LAT.	LONG.	PROF.	MAG.
19	23:26:29	10 05,30	84 00,47	20,3	2,8
20	10:16:34	10 02,69	83 52,56	15,3	2,8
22	21:02:53	10 05,48	83 59,85	1,8	2,9
22	21:05:30	10 06,00	83 55,23	10,8	3,4
22	22:24:55	10 08,27	83 51,49	13,9	2,9
23	00:01:48	10 06,07	83 58,07	10,6	2,7
23	04:33:29	10 06,02	83 59,01	23,0	2,9
23	04:51:46	10 02,86	83 58,07	2,3,	3,7
24	23:25:55	10 00,97	84 02,77	10,6	2,6

Fuente: Boschini (1988)

La distribución de los sismos de las secuencias de 1987 y 1990 se muestra en la figura 13, donde se puede notar una



distribución de epicentros con un cierto alineamiento con rumbo NE-SW que se extiende hacia el NE del cerro Zurquí, pasando cerca del río Patria, que puede estar relacionado con una falla local con esa orientación que existe en la zona, lo cual explicaría el carácter somero de los hipocentros. Los eventos de la secuencia de agosto de 1990 tienen una alineación N-S.

Zona oeste del Valle Central:

En la zona oeste del Valle Central se registraron varios sismos (Cuadro 10), todos relacionados con actividad en fallas locales localizadas cerca de Grecia, Atenas y San Ramón.

CUADRO 10

SISMOS DEL OESTE DEL VALLE CENTRAL, 1990

FECHA	HORA	LAT	LONG	PROF	MAG	EPICENTRO
30-3-90	00:55	09 58,70	84 24,65	05,0	2,0	Sur de Atenas
4- 4-90	08:15	10 03,41	84 20,47	16,0	3,5	2 km N Grecia
1- 4-90	20:42	09 59,99	84 23,19	10,4	2,8	2 km N Atenas
8- 4-90	19:15	10 05,23	84 26,67	71,6	3,9	2 km N S.Ramón

Zona sureste del Valle Central:

En la zona sureste del Valle Central, cerca de Tejar del Guarco se presentó actividad sísmica tipo enjambre, con eventos de magnitudes bajas, siendo el más fuerte el ocurrido el del día 10 de julio con una magnitud de 3,3 (Fig. 14, Cuadro 11).

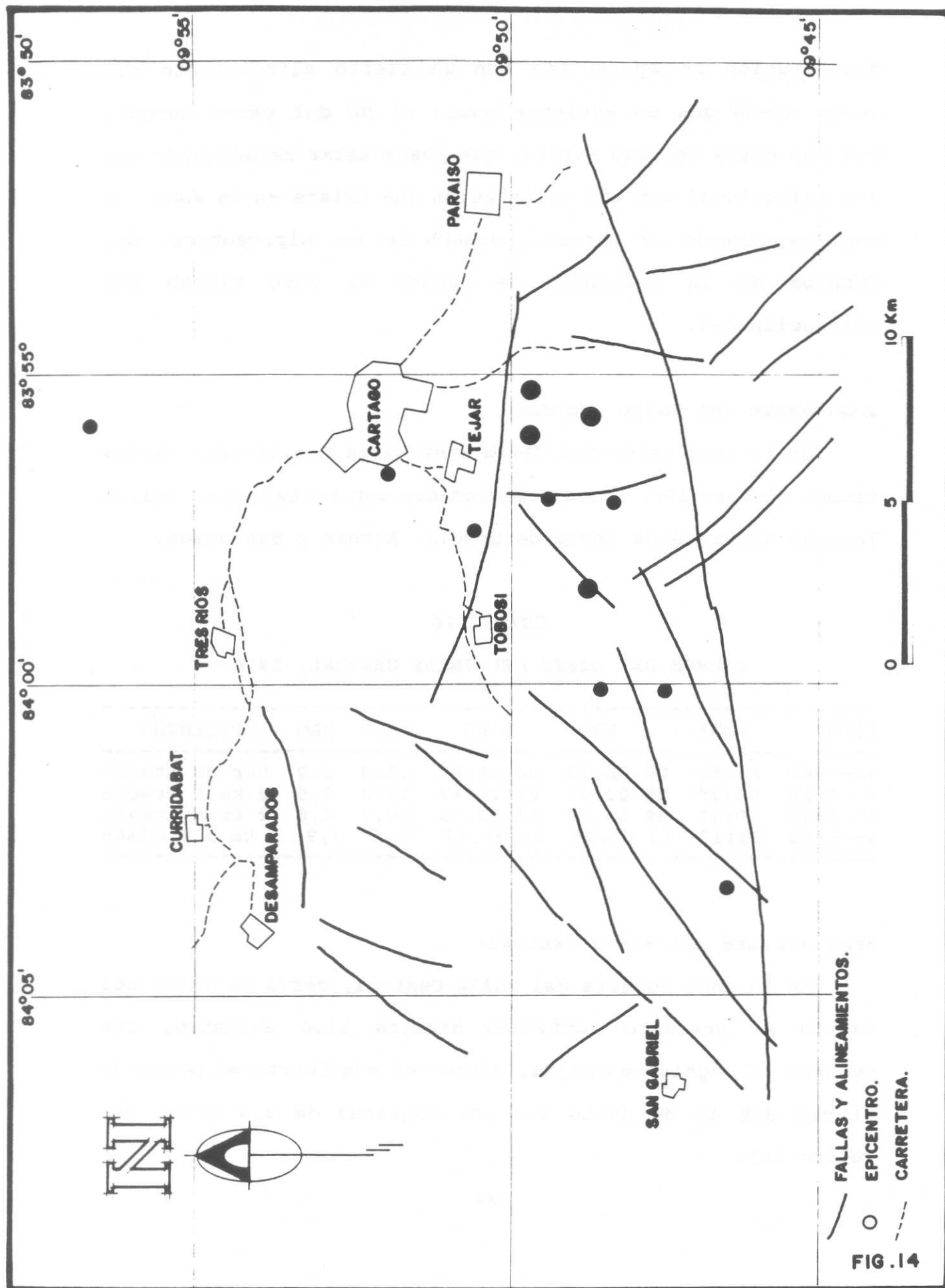


FIG.14

CUADRO 11

PRINCIPALES SISMOS DEL SE DEL VALLE CENTRAL

FECHA	HORA	LAT.	LONG.	PROF.	MAG.	EPICENTRO
30-3-90	03:19	09 52,98	84 03,06	12,8	3,1	1,5 km W de Patarrá
17-4-90	10:16	09 50,46	83 56,57	6,8	2,3	Tejar, Cartago
18-4-90	04:07	09 46,40	84 00,43	12,8	2,6	6 km N de La Lucha
10-7-90	11:50	09 48,85	83 58,43	14,2	3,3	4 km SW Tejar
12-7-90	06:14	09 54,46	83 58,43	13,3	2,6	3 km W de Tierra Blanca
30-7-90	03:25	09 49,59	83 55,58	03,6	3,1	3 km S Tejar
31-7-90	07:39	09 48,69	83 55,70	04,4	3,1	3 km S Tejar
01-7-90	08:01	09 49,80	83 55,28	15,6	2,8	3 km SSE Tejar

El origen de estos temblores esta relacionado con fallamiento local, en el borde norte de las estribaciones de la cordillera de Talamanca, al sur de Cartago. En esta región, estudios sismológicos y geológicos han evidenciado la presencia de un sistema de fallamiento superficial activo que en el pasado ha generado actividad sísmica importante, siendo de primordial importancia las fallas de Agua Caliente, Navarro y Orosi.

Zona de Turrialba:

Durante los meses de octubre y noviembre de 1990, las estaciones de la RSN y del P.H. Siquirres registraron actividad sísmica en dos zonas diferentes en la región de Turrialba. Los parámetros de los eventos principales y su ubicación se muestran en el cuadro 12 y las figuras 15 y 16.

CUADRO No. 12

EVENTOS SISMICOS PRINCIPALES DE LA ZONA DE TURRIALBA

FECHA	HORA GMT	MAG	PROF	UBICACION	INTENSIDADES
16-10-90	07:34	4,4	4,6	26 km S de la Suiza	III:La Suiza II:San José
08-11-90	04:04	3,9	5,0	15 km NE de la Suiza	III:San Miguel de Matina y Colonia Puriscaleña
17-11-90	23:03	4,2	6,7	25 km S de Pejibaye	II:Cartago y Turrialba
19-11-90	09:00	4,1	9,0	27 km SE de Pejibaye	II:Cartago y Turrialba

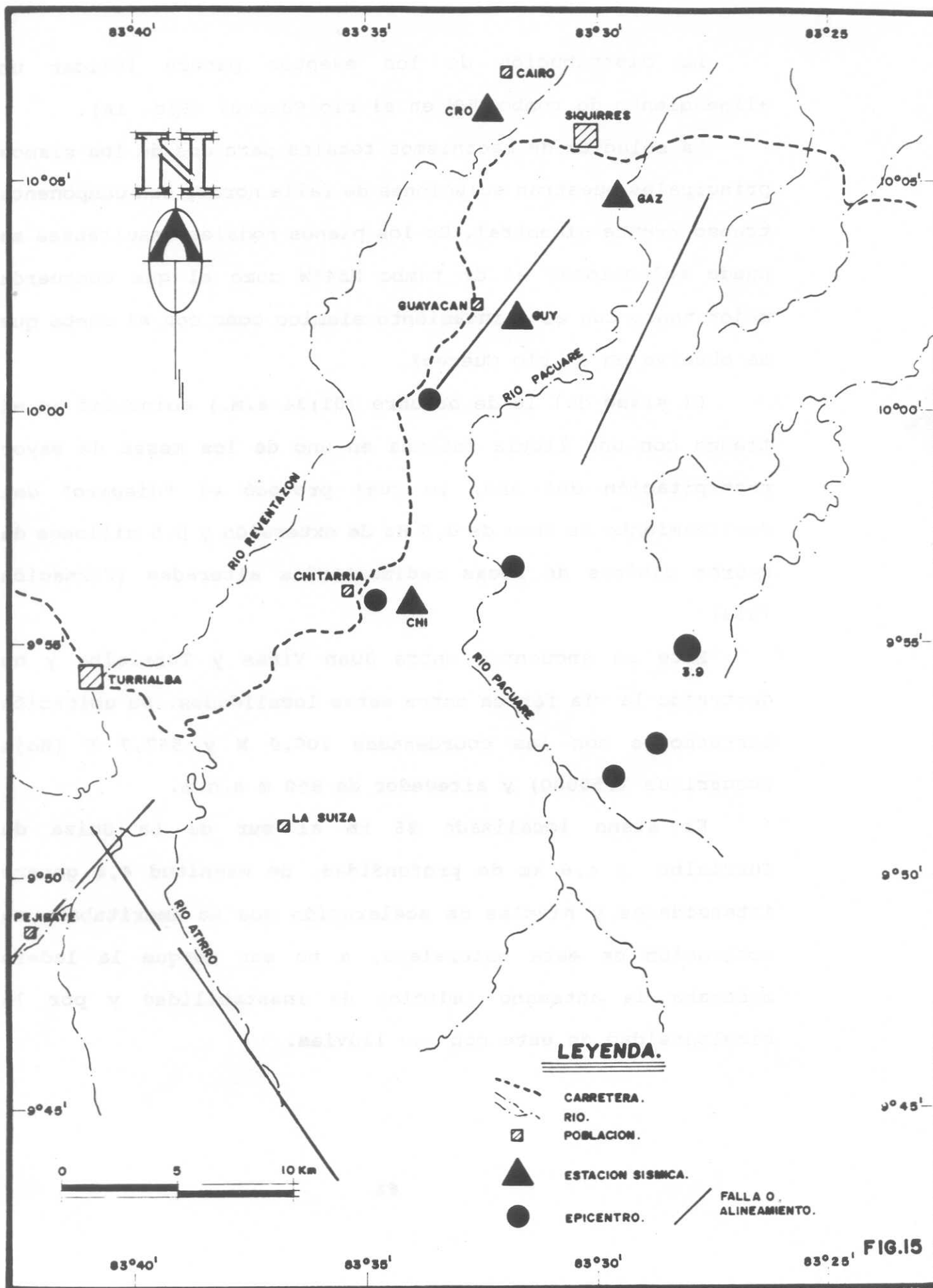
a) Zona NE de Turrialba y sur del P.H. Siquirres:

En esta zona el sismo de magnitud mayor fue el del día 8 de noviembre, que tuvo una magnitud de 3,9. La distribución de los eventos es un poco dispersa lo que no permite definir bien alineamientos (Fig. 15).

Un mecanismo focal para el evento principal define planos nodales de rumbo N60°E y N02°W que podrían corresponder con una falla normal con componente transcurrente sinistral en esta zona.

b) Zona al sur de Pejibaye y la Suiza:

En esta zona se produjeron tres eventos sísmicos en 1990 (16 de octubre, 17 y 19 de noviembre) que tuvieron magnitudes de 4,4, 4,2 y 4,1 respectivamente.



La distribución de los eventos parece indicar un alineamiento de rumbo NWW en el río Cuerecí (Fig. 16).

La solución de mecanismos focales para dos de los sismos principales muestran soluciones de falla normal con componente transcurrente sinistral. De los planos nodales resultantes se puede seleccionar el de rumbo N54°W como el que concuerda mejor tanto con el alineamiento sísmico como con el rumbo que se observa en el río Cuerecí.

El sismo del 16 de octubre (01:34 a.m.) coincidió en el tiempo con una lluvia intensa en uno de los meses de mayor precipitación del año, lo cual provocó el "disparo" del deslizamiento de Chiz de 3,5 Ha de extensión y 0,5 millones de metros cúbicos de rocas sedimentarias alteradas (Formación Tuis).

Este se encuentra entre Juan Viñas y Turrialba y ha destruido la vía férrea entre estas localidades. Su ubicación corresponde con las coordenadas 206,0 N y 567,7 E (Hoja Tucurrique 1:50000) y alrededor de 850 m s.n.m.

El sismo localizado 26 km al sur de La Suiza de Turrialba, a 4,6 km de profundidad, de magnitud 4,4 generó intensidades y niveles de aceleración que no ameritaban una activación de esta naturaleza, a no ser porque la ladera mostraba de antemano indicios de inestabilidad y por la simultaneidad de este con las lluvias.

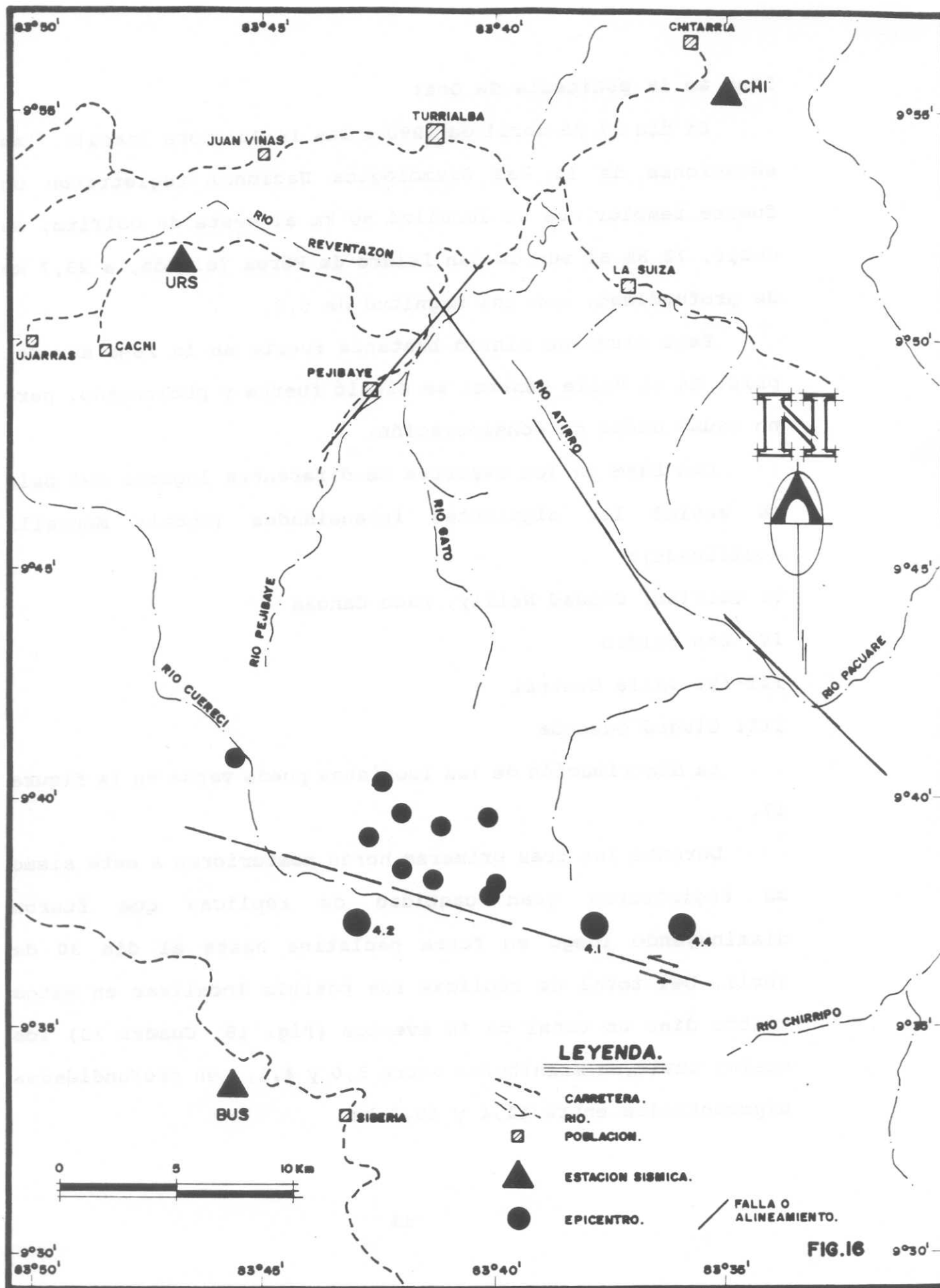


FIG.16

Zona de la península de Osa:

El día 27 de abril de 1990 a las 19:23 (hora local), las estaciones de la Red Sismológica Nacional registraron un fuerte temblor que se localizó 50 km al oeste de Golfito, es decir, 78 Km al sur de San Isidro de Pérez Zeledón, a 23,7 km de profundidad, con una magnitud de 5,2.

Este sismo se sintió bastante fuerte en la zona sur del país. En el Valle Central se sintió fuerte y prolongado, pero no causó daños de consideración.

Con base en los reportes de diferentes lugares del país se estimó las siguientes intensidades (Escala Mercalli Modificada):

V: Golfito, Ciudad Neilly, Paso Canoas

IV: San Isidro

III-IV: Valle Central

III: Ciudad Quesada

La distribución de las isosistas puede verse en la figura 17.

Durante las tres primeras horas posteriores a este sismo se registraron gran cantidad de réplicas que fueron disminuyendo luego en forma paulatina hasta el día 30 de abril. Del total de réplicas fue posible localizar en estos cuatro días un total de 18 eventos (Fig. 18, Cuadro 13) los cuales tuvieron magnitudes entre 3,0 y 4,1, con profundidades hipocentrales entre 11,4 y 60,3 km.

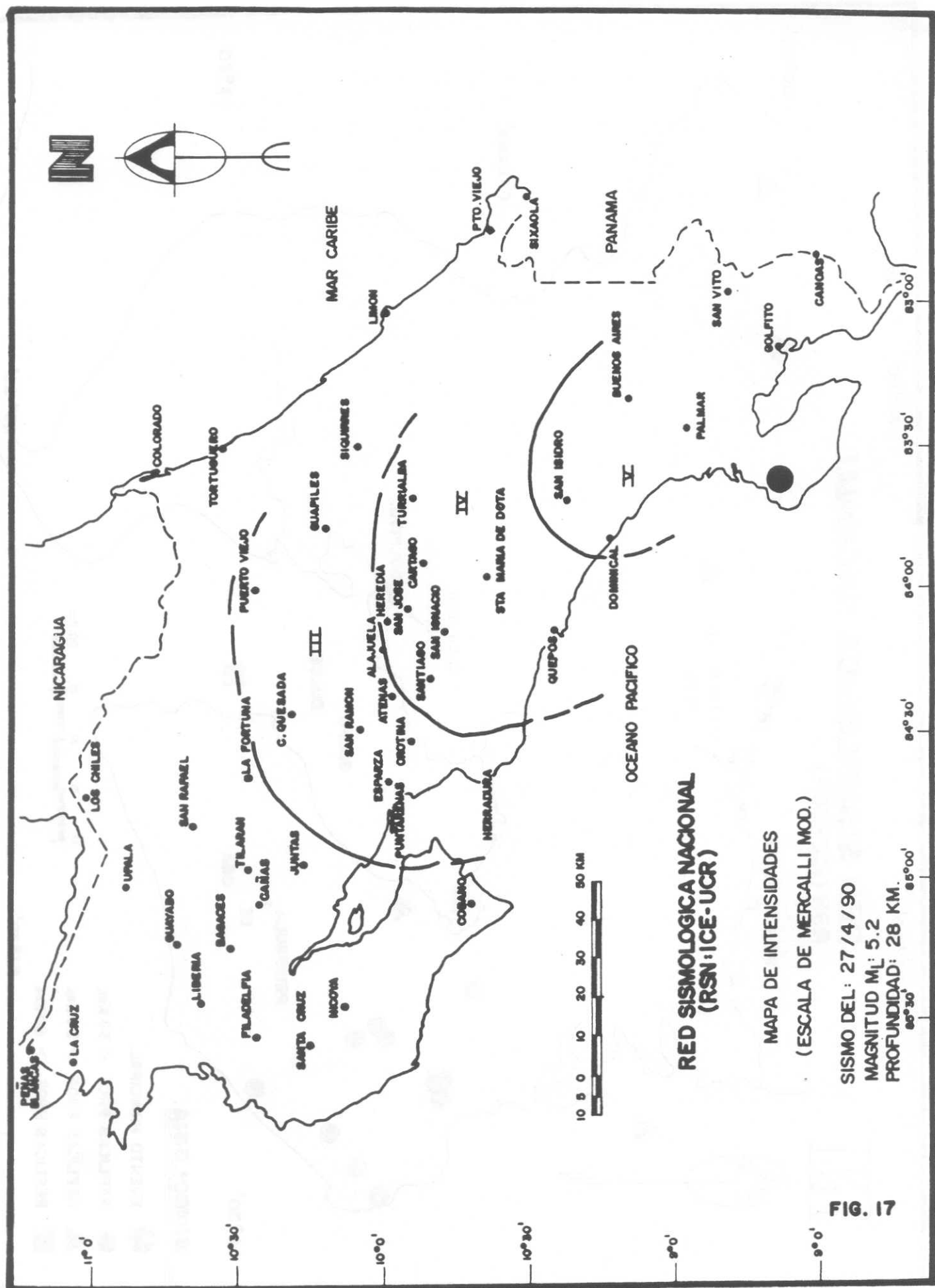


FIG. 17

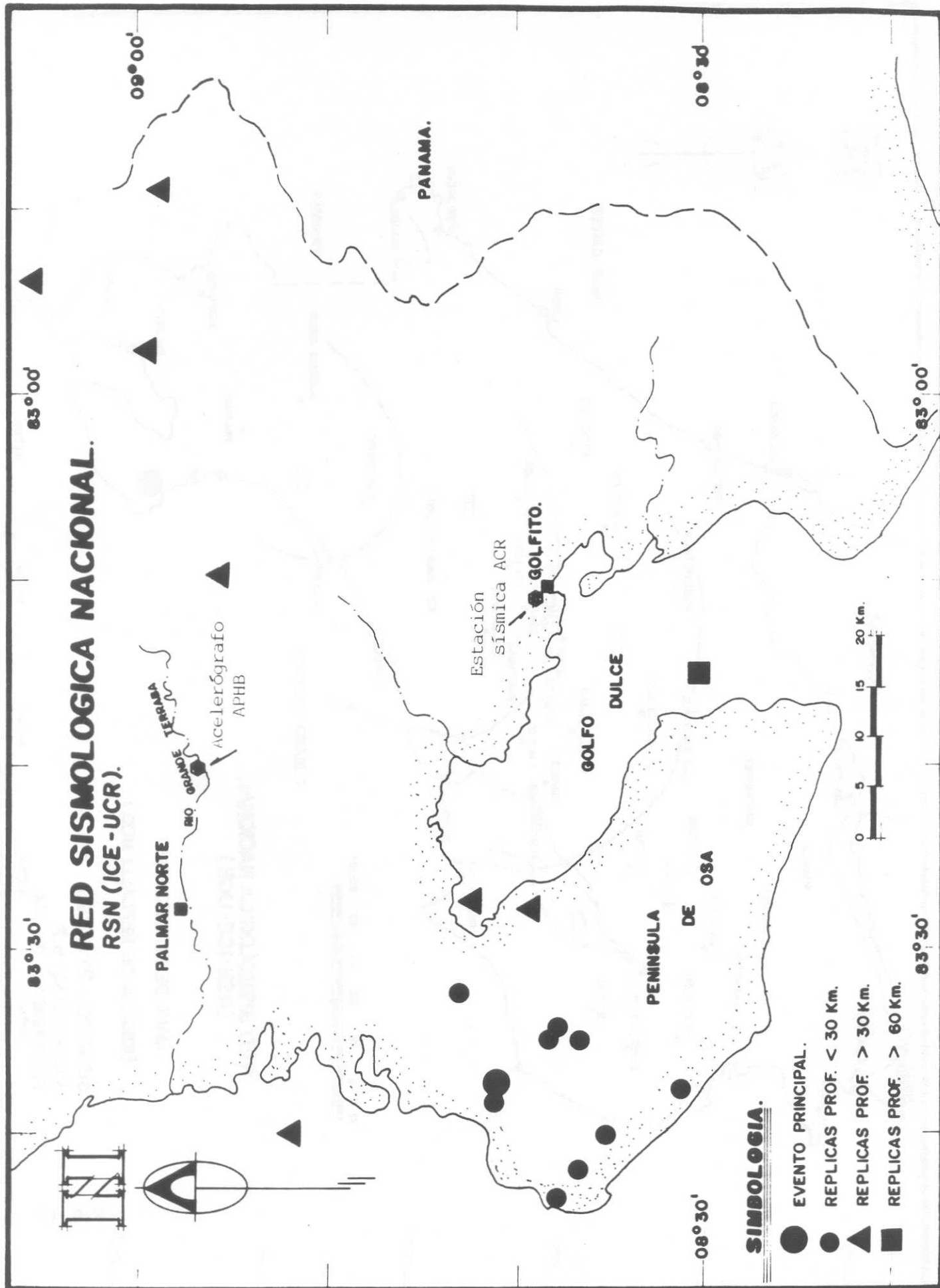


FIG. 18

El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) realizó un mecanismo focal para el evento principal, cuya solución muestra un fallamiento inverso que concuerda con el proceso de subducción de la Placa del Coco bajo la del Caribe (Fig. 19).

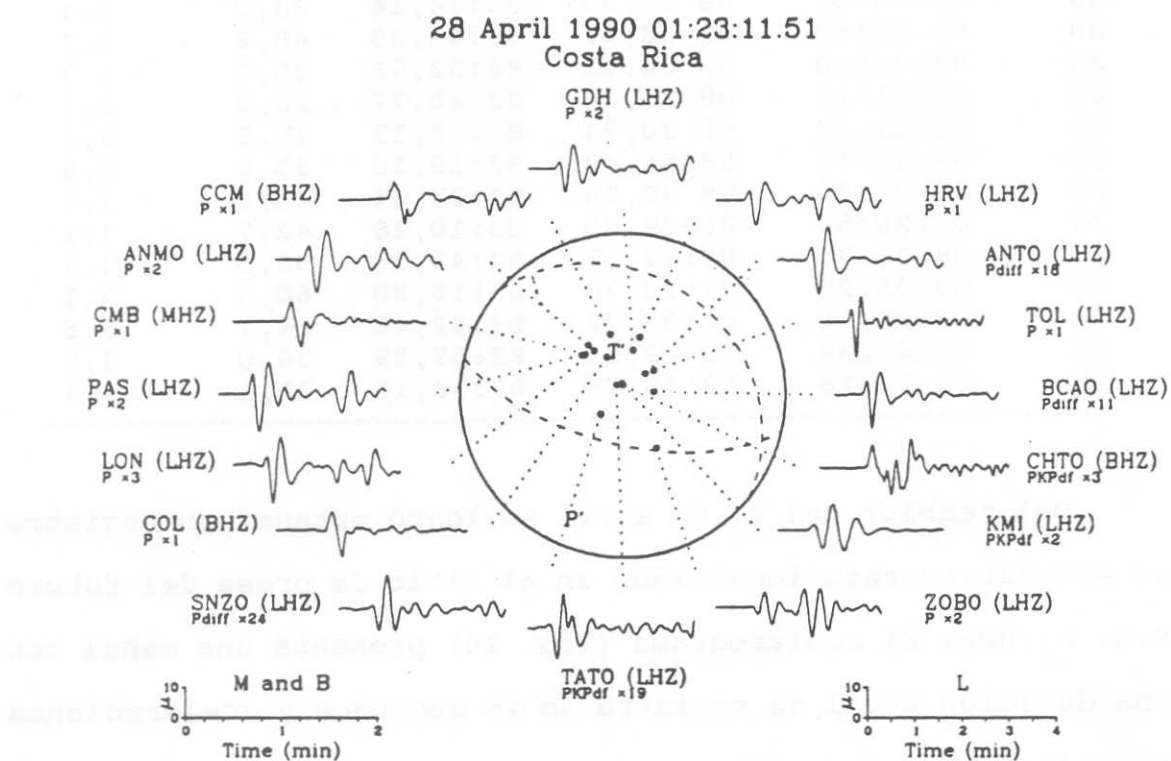


FIG. 19

CUADRO 13

SISMO PRINCIPAL Y REPLICAS, 28 DE ABRIL DE 1990

DIA	TIEMPO	LAT.	LONG.	PROF.	MAG.
28	01:23:09	08 40,60	83:37,50	27,9	5,2
28	01:30:05	08 38,16	83:34,76	17,3	4,1
28	01:31:52	08 37,85	83:33,91	25,6	3,5
28	01:34:54	08 42,22	83:27,59	35,2	3,0
28	01:35:55	08 42,77	83:32,07	12,8	3,1
28	01:37:48	08 36,84	83:34,93	26,7	3,5
28	01:40:53	08 37,99	83:44,14	23,0	3,4
28	02:22:47	08 58,47	82:49,25	48,2	3,3
28	02:24:50	09 06,11	82:52,96	35,0	3,3
28	02:51:15	08 35,20	83:40,77	25,0	3,7
28	03:11:19	08 30,74	83:38,13	19,2	3,3
28	03:53:15	08 56,48	83:10,18	35,0	3,6
28	04:03:00	08 39,29	83:27,24	41,0	3,3
28	05:20:59	08 39,35	83:10,18	42,7	3,1
28	08:03:30	09:13,57	82:45,30	32,5	3,3
28	08:06:29	08:30,78	83:15,20	60,3	3,1
28	08:20:46	08:36,72	83:42,48	24,7	3,5
28	13:48:38	08:59,58	82:57,59	30,0	3,0
28	01:23:18	08:40,75	83:38,15	21,1	3,3

Del temblor del 27 de abril se logró obtener un registro en el acelerógrafo localizado en el sitio de presa del futuro P.H. Boruca. El acelerograma (Fig. 20) presenta una señal con una duración total de registro de 15 segundos y aceleraciones pico de 0,027 g y 0,032 g en las componentes horizontales y de 0,019 g en la vertical, valores un tanto bajos para la magnitud del evento que indican un buen comportamiento dinámico del macizo rocoso donde se ubica el sitio del registro.

ACELEROGRAMA

SITIO DE PRESA P.H. BORUCA

FECHA DEL SISMO: 27/04/90 HORA: 7:23 pm

MAGNITUD: 5.2 ACEL. MAX.: 0.032 g

DISTANCIA DEL SITIO DE REGISTRO AL EPICENTRO: 45 Km

INTENSIDAD(MM) EN SITIO DE REGISTRO: V

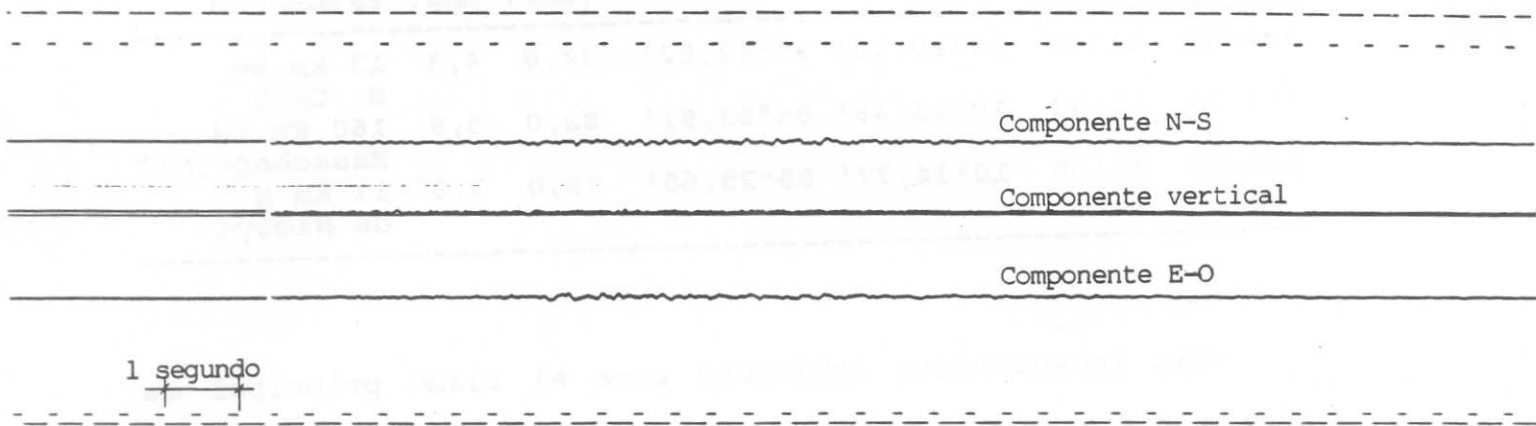


FIG.20

Zona del Pacífico Norte:

En la zona de Guanacaste se registró actividad sísmica posterior al sismo de Cóbano lo cual se asoció al proceso de subducción de la Placa del Coco bajo la del Caribe. Los tres eventos principales se describen en el cuadro 14.

CUADRO 14

SISMOS PRINCIPALES DEL PACIFICO NORTE

FECHA	HORA	LAT.	LON.	PROF.	MAG.	EPICENTRO
3-4-90	11:52	10°20,10'	85°42,82'	32,0	4,3	12 km NW S. Cruz
3-4-90	13:32	10°16,49'	86°53,91'	82,0	5,9	160 Km SW Masachapa, NIC
9-7-90	17:59	10°14,77'	85°25,65'	35,0	3,9	11 Km N de Nicoya

Las intensidades estimadas para el sismo principal de magnitud 5,9 fueron (Fig. 21):

V: Cuajiniquil
IV-V: Liberia y Rivas
IV: Puntarenas y Managua
III: Valle Central
II: Limón, San Isidro del General

Zona de Dominical:

En la zona del Pacífico Central se presentó la actividad sísmica posterior al temblor de Cóbano que se detalla en el Cuadro 15.

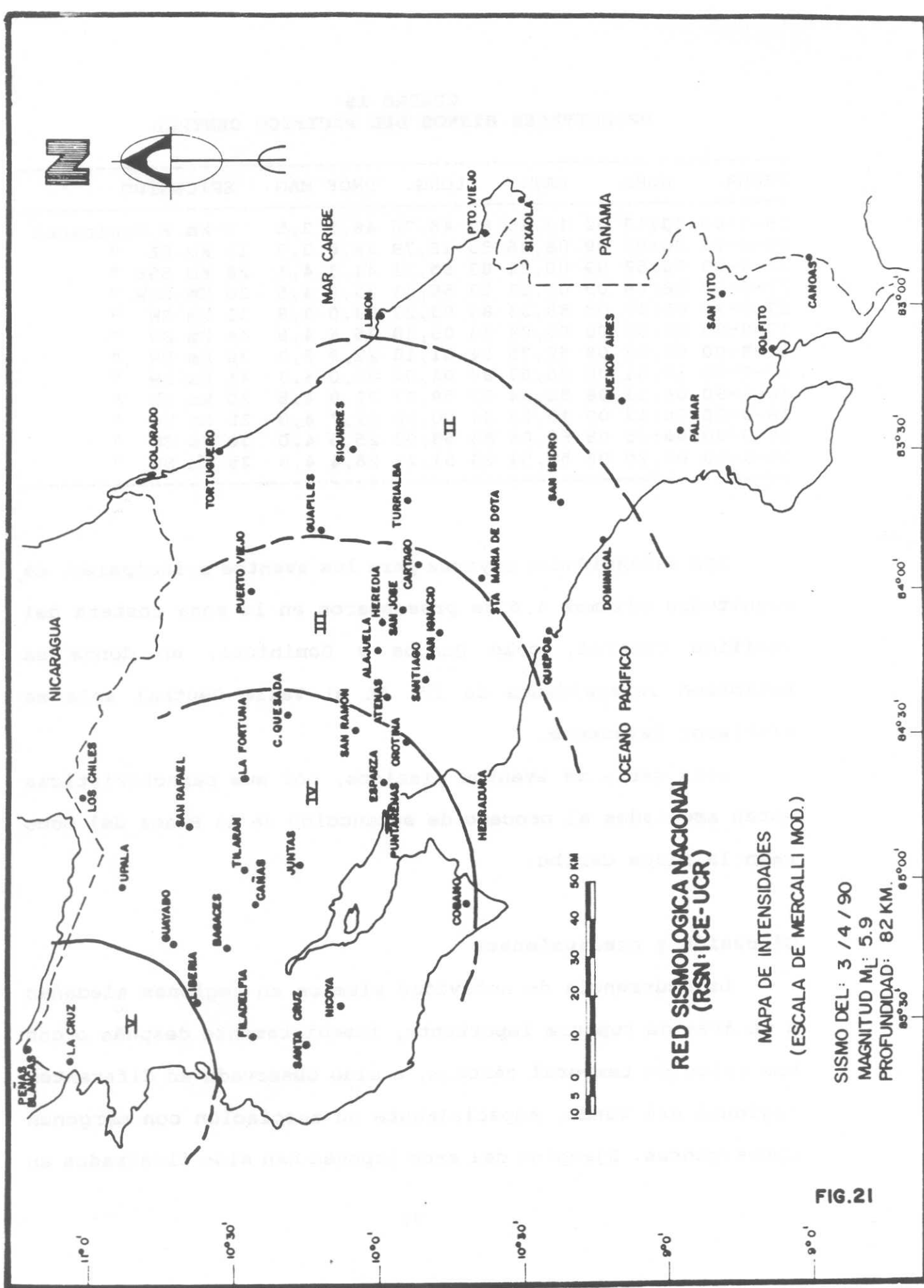


FIG.21

CUADRO 15
PRINCIPALES SISMOS DEL PACIFICO CENTRAL

FECHA	HORA	LAT.	LONG.	PROF	MAG	EPICENTRO
28-3-90	20:17	09 14,15	83 48,70	46,3	3,5	2 km E Dominical
03-4-90	06:09	09 08,36	83 46,79	26,0	3,9	12 Km SE "
15-4-90	06:58	09 00,31	83 55,31	41,3	4,1	28 Km SSE "
17-9-90	08:46	09 01,63	83 55,31	33,0	4,5	26 Km SSW "
17-9-90	08:49	08 58,33	84 03,23	33,0	3,8	36 Km SW "
17-9-90	08:52	08 55,84	84 05,30	26,6	4,6	44 Km SW "
17-9-90	08:56	08 59,75	84 01,18	22,9	2,3	36 Km SW "
17-9-90	13,51	08 56,67	84 04,04	23,0	4,3	41 Km SW "
18-9-90	06,11	08 58,34	83 59,27	22,0	4,5	30 Km SW "
18-9-90	06:43	09 15,22	84 00,52	12,7	4,0	25 Km NW "
18-9-90	06:45	08 58,86	83 58,03	25,0	4,0	30 Km SW "
20-9-90	03,20	08 56,54	83 51,22	26,4	4,6	25 Km SW "

Las intensidades mayores para los eventos principales, de magnitudes máximas 4,6 se presentaron en la zona costera del Pacífico Central, como Quepos y Dominical, en donde se estimaron intensidades de IV. En el Valle Central solo se sintieron levemente.

Esta serie de eventos sísmicos, por sus características están asociados al proceso de subducción de la Placa del Coco bajo la Placa Caribe.

Discusión y conclusiones:

La ocurrencia de actividad sísmica en regiones aledañas a un área de ruptura importante, inmediatamente después o con una relación temporal cercana, a sido observada en diferentes regiones del mundo, especialmente en asociación con márgenes convergentes. Ejemplos del arco japonés han sido ilustrados en

la literatura reciente. El medio adyacente al área de ruptura se encuentra bajo un régimen compresivo, al ocurrir la ruptura el nivel de esfuerzos adyacente presenta una caída de esfuerzos y además se presenta una relajación y un rebote elástico de los bloques de falla aledaños. El campo de esfuerzos cercano presenta una modificación en sus trayectorias y en la magnitud de los mismos, y además se presentan concentraciones de esfuerzos en los bordes de la ruptura. Hacia el interior del continente se transmite una onda de deformación que se propaga con diferentes velocidades dependiendo de diversos factores. Uno de estos factores es el grado de acoplamiento entre las placas, que en el caso de Costa Rica tiene especial significado dada la fuerte interacción entre el levantamiento del Coco y el área continental centro-sur del país. De esta manera puede explicarse la sismicidad inducida que se observó principalmente en esta última región. Se propone que un efecto similar se presentó después del terremoto de Cóbano y de esta manera podría explicarse la sismicidad observada y descrita previamente. Kasahara (1979) ha realizado una compilación de ejemplos de distintas partes del mundo y definido diferentes velocidades de migración que oscilan entre valores de decenas a poco más de una centena de kilómetros por año, las velocidades de migración más altas deben explicarse por otros mecanismos.

Uno de estos mecanismos es la deformación elástica provocada directamente por la transmisión de la onda sísmica, que al superimponerse en un medio previamente deformado puede alcanzar los valores de ruptura del material. En este caso se puede decir que el efecto es de tipo "gatillo", dado que el medio previamente deformado puede alcanzar los valores de ruptura del material. Además de que el medio debe ubicarse en una situación de equilibrio inestable respecto al nivel de deformación acumulada. La sismicidad asociada del volcán Poás puede tener este origen o deberse a la interacción magma-medio sólido al ser contraído y dilatado por causa de la transmisión de las ondas sísmicas debió provocar inestabilidades que llevaron a que se desencadenara un proceso de ruptura como fue el descrito previamente.

CAPITULO 5

EL ENJAMBRE DE PURISCAL Y MORA DE 1990

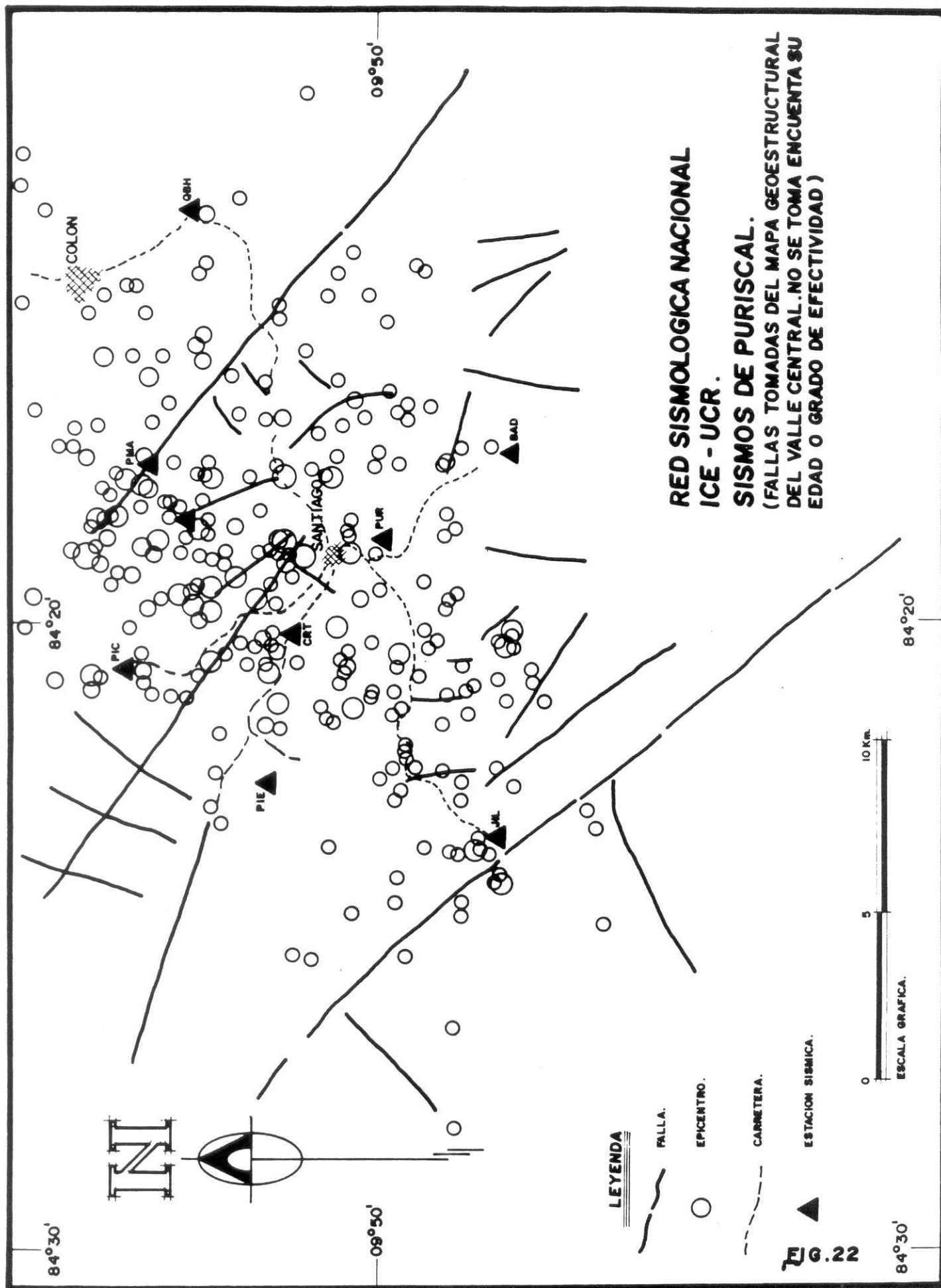
RAFAEL BARQUERO
WILFREDO ROJAS MARIO FERNANDEZ

Introducción:

Desde el mes de abril de 1990, la población de Santiago de Puriscal empezó a sentir una serie de sismos asociados a una actividad sísmica tipo "enjambre" que se prolongó por varios meses en forma continua, siendo de esta manera, uno de los fenómenos sísmicos más interesantes del presente siglo en Costa Rica, especialmente porque ha sido posible su registro instrumental por medio de las estaciones de la Red Sismológica Nacional.

La zona de Puriscal y Mora, caracterizada geológicamente por materiales sedimentarios del Eoceno-Mioceno y volcánicos del Plio-Pleistoceno, ha presentado desde hace mucho tiempo serios problemas de deslizamientos los cuales se han visto agravados por la creciente deforestación y aún más por la reciente actividad sísmica.

Desde abril hasta agosto de 1990 se registraron aproximadamente 20 000 eventos, de los cuales únicamente 22 tuvieron magnitud mayor o igual a 4,0 (Cuadro 16, Fig. 22). El sismo de magnitud máxima dentro de este período se produjo el día sábado 30 de junio y tuvo una magnitud local de 5,0.



CUADRO 16

SISMOS IMPORTANTES DE PURISCAL MAYO-JULIO 1990

No.	FECHA	TIEMPO GMT	LATITUD	LONGITUD	PROF	MAG
01	29/05/90	195151,12	09 51,39	84 21,32	05,7	4,6
02	31/05/90	085923,52	09 51,85	84 21,32	10,9	4,1
03	01/06/90	025750,63	09 51,62	84 20,90	01,2	4,0
04	01/06/90	032817,16	09 53,02	84 19,45	05,3	4,5
05	07/06/90	171206,54	09 52,91	84 18,36	07,3	4,5
06	08/06/90	003149,09	09 52,66	84 19,36	07,3	4,8
07	08/06/90	134628,49	09 53,41	84 18,66	07,2	4,0
08	08/06/90	134656,66	09 54,11	84 18,11	05,2	4,5
09	08/06/90	154745,69	09 51,10	84 18,27	08,2	4,0
10	08/06/90	194215,17	09 53,03	84 19,79	12,7	4,2
11	09/06/90	003447,01	09 53,91	84 17,55	05,7	4,8
12	09/06/90	144057,00	09 54,38	84 18,13	12,8	4,0
13	13/06/90	050233,09	09 52,49	84 19,80	01,4	4,2
14	16/06/90	022248,15	09 53,91	84 17,55	08,6	4,3
15	18/06/90	090948,71	09 50,23	84 21,48	13,6	3,9
16	21/06/90	042900,61	09 50,23	84 18,87	04,4	3,8
17	26/06/90	194120,06	09 52,66	84 17,62	15,3	3,8
18	30/06/90	130329,50	09 50,63	84 19,98	03,7	4,0
19	30/06/90	145007,70	09 47,75	84 20,32	12,2	5,0
20	30/06/90	145523,32	09 52,49	84 20,66	15,0	4,5
21	30/06/90	145746,43	09 49,43	84 20,57	21,0	4,4
22	30/06/90	150106,78	09 51,33	84 17,48	15,0	4,3
23	30/06/90	174941,72	09 52,12	84 19,11	20,1	4,0
24	30/06/90	184119,24	09 50,57	84 17,50	15,4	4,0
25	03/07/90	110424,24	09 46,63	84 20,14	03,3	3,7
26	06/07/90	124036,06	09 48,09	84 23,79	06,2	3,8
27	06/07/90	210127,56	09 47,94	84 24,14	05,0	3,7
28	11/07/90	232908,20	09 54,32	84 20,84	10,0	3,6

La energía liberada por el enjambre sísmico durante los cuatro primeros meses se ha estimado en $3,5 \times 10^{19}$ ergios.

Los parámetros de los temblores de Puriscal permiten definir una o varias fuentes sísmicas relativamente

superficiales asociadas a fallamiento local. La diversidad de soluciones de mecanismos focales para diferentes eventos así como las evidencias geológicas de campo indican la presencia de varias fallas activas de longitudes no mayores de 15 kilómetros con rumbos preferenciales N-S y WNW-ESE.

La actividad sísmica de este período afectó un área aproximada de 100 km² y ocasionó pérdidas económicas estimadas en 100 millones de colones especialmente por daños en casas y edificios escolares de construcción deficiente y ubicados en sitios geotécnicamente no adecuados.

Antecedentes históricos:

Antes de la actividad sísmica suscitada en 1990, no se habían registrado históricamente eventos sísmicos relevantes originados por fallamiento superficial en esa región. Al no haber datos y evidencia histórica suficiente, se hace imposible definir períodos de recurrencia en la liberación de energía, para sismos con magnitudes importantes en las fallas geológicas activas del área.

El único sismo cercano a esa región del que se tiene conocimiento, fue el evento del día 26 de octubre de 1940 a las 23:35 horas de magnitud Ms= 6,75 localizado en la cuenca superior del río Tulín y que probablemente tuvo su origen asociado a la zona de subducción entre las placas del Coco y Caribe, a menos de 50 km de profundidad. No fueron reportados

daños mayores y la intensidad máxima en Santiago fue de VI en la escala Mercalli.

En un estudio de sismotectónica y microtemblores en el suroeste del Valle Central realizado por Montero y Morales (1985), se identificó una área de fallamiento activo al noroeste de Santiago de Puriscal. Con base en el mecanismo focal compuesto se sugirió un plano de ruptura de desplazamiento lateral derecho, con rumbo nor-noroeste.

Utilizando el banco de datos de la RSN, para sismos con profundidades menores a 15 km, se obtiene una sismicidad dispersa en la región de Puriscal y alrededores, se aprecia una ligera concentración de sismos hacia el norte y noroeste de Santiago, lo mismo que otros grupos de epicentros hacia el área de Santa Marta, Tabarcia, Piedras Negras-Picagres (Fig. 23). Sin embargo, a pesar de los pocos datos históricos sobre la sismicidad de la región, hay evidencia suficiente para indicar que se trata de una área tectónicamente activa.

El enjambre sísmico:

En la última semana del mes de abril los habitantes de Santiago de Puriscal y localidades aledañas, empiezan a percibir pequeños movimientos telúricos acompañados de retumbos, los cuales llegan a despertar en ellos preocupación. Ante esta preocupación y considerando que la actividad sísmica se agravaba con el tiempo, la Red Sismológica Nacional (RSN)

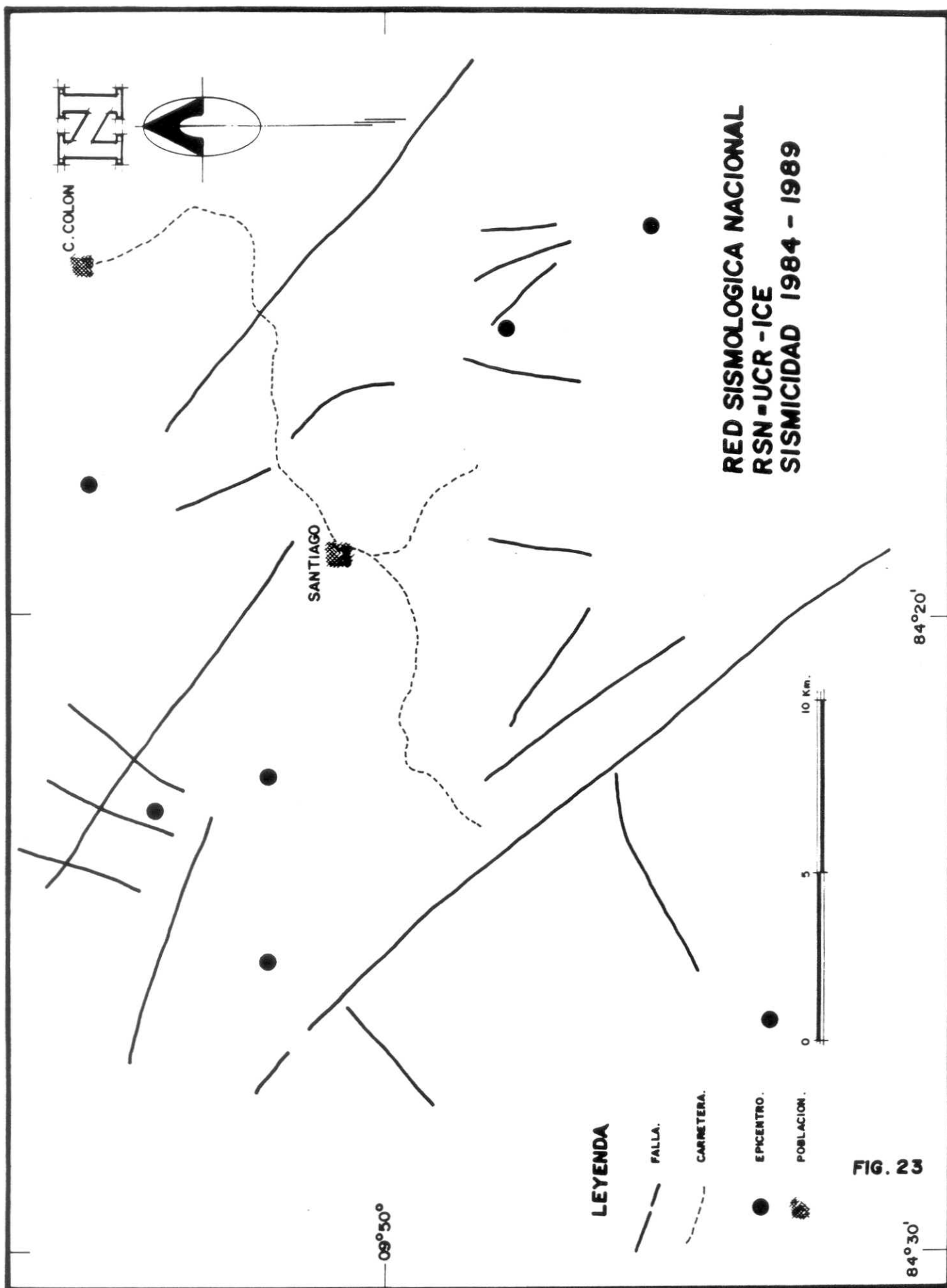


FIG. 23

instaló, a partir del día 7 de mayo, una red de estaciones sísmicas portátiles (Fig. 22) en los siguientes lugares:

- 1- Estación PIC en Picagres
- 2- Estación PUR en Santiago
- 3- Estación JIL en Jilgueral
- 4- Estación BAD en Bajo Badilla
- 5- Estación CRT en Carit
- 6- Estación PMA en La Palma *
- 7- Estación PIE en Piedades *
- 8- Estación TIN en Tinamaste *
- 9- Estación QBH en Quebrada Honda *

NOTA: Las estaciones con (*) fueron removidas según la migración de la sismicidad.

Actividad sísmica mayo-julio 1990:

El enjambre sísmico se inició en la última semana de abril con eventos esporádicos pero persistentes. Al pasar los días se observó un incremento tanto en la fuerza de los sismos como en la frecuencia de ellos por día (Fig. 24).

Entre los días 7 y 31 de mayo de 1990 se registraron 2024 eventos sísmicos en Puriscal, 100 de los cuales se reportaron como sentidos. Las primeras sacudidas fuertes ocurren justamente al final del mes de mayo con los siguientes eventos:

- 29 de mayo a las 13:56, magnitud 4,6
- 30 de mayo a las 22:05, magnitud 4,75
- 31 de mayo a las 21:28, magnitud 4,5

El temblor de magnitud 4,75 ocurrido el día 30 de mayo fue el evento más fuerte que tuvo lugar en Puriscal desde que comenzó el enjambre hasta finalizar mayo. Como es usual después de una fuerte sacudida, el número de sismos se

**SISMICIDAD DIARIA EN LA REGION DE
PURISCAL, COSTA RICA.
MAYO - DICIEMBRE 1990**

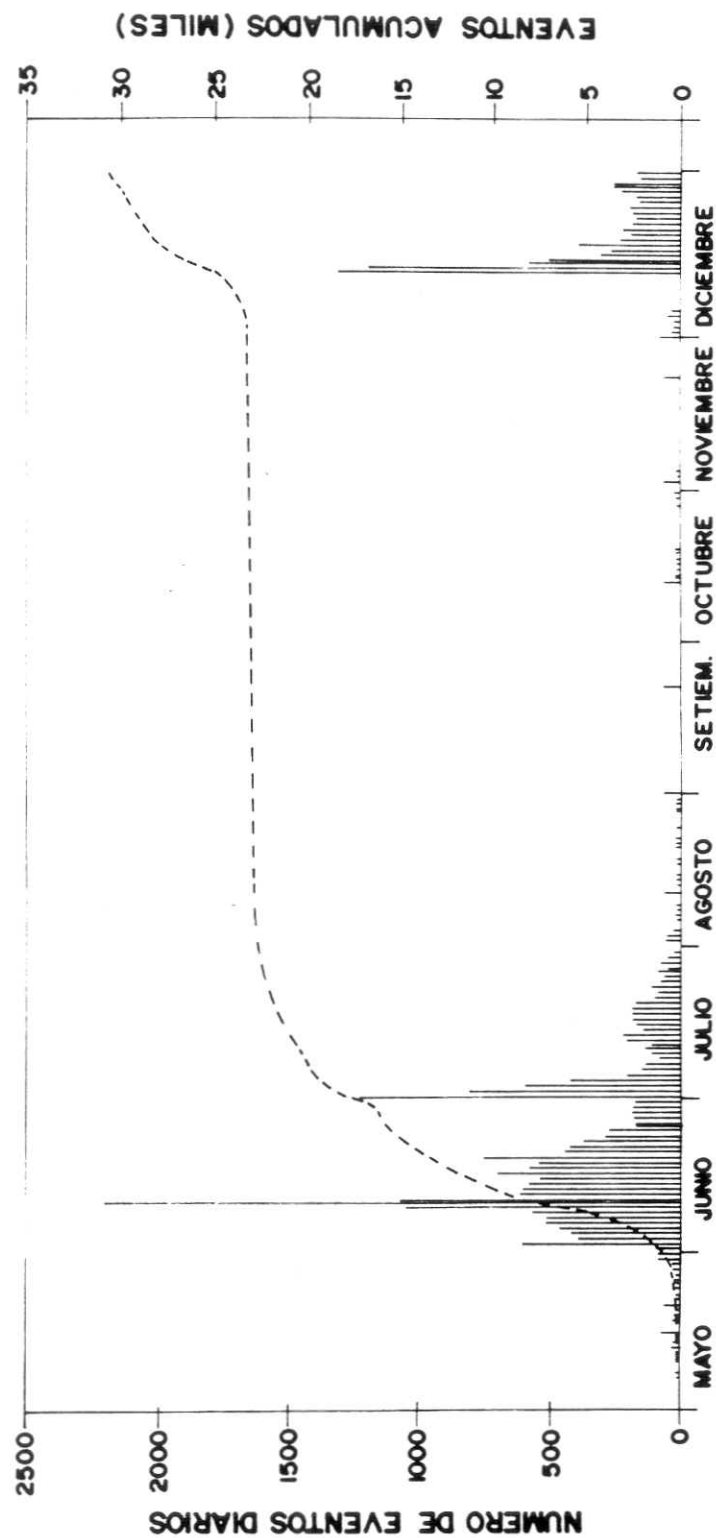


FIG.24

incrementó después del 30 de mayo, llegando a ocurrir 600 eventos el 31 del mismo mes.

En el mes de junio ocurre el máximo de sismicidad de los tres meses analizados, ocurriendo 15 672 eventos sísmicos de los cuales 378 fueron sentidos en Puriscal. Los temblores más fuertes ocurren en este mes. Se registraron 16 eventos con magnitud local mayor a 4,0 grados. El día 7 a las 6:31 p.m, ocurre una sacudida fuerte, su magnitud fue de 4,8 grados. Un día después, el 8 a las 6:34 p.m, se da un temblor de magnitud 4,9 grados. La fuerza de los sismos iba en aumento y cada vez que ocurría un sismo fuerte era acompañado por cientos de microsismos (réplicas). La actividad sísmica prosigue hasta el día 30 cuando ocurre un temblor de 5,0 grados. Este fue hasta ese momento el evento de mayor magnitud de todos los que formaban parte del enjambre de Puriscal. Como sucedió en el mes de mayo, también en junio la actividad se incrementó en los últimos días del mes generando mucha angustia y pánico entre los habitantes del lugar.

En el mes de julio la actividad fue baja. Desde que ocurrió el evento de magnitud 5,0 se observó una disminución en el número de sismos por día. El total de eventos en julio fue 4677 de los cuales se reportaron como sentidos 20. Tal fue el descenso de la sismicidad en julio que el mayor evento fue de 3,8 grados (MD) y solamente cuatro temblores tuvieron magnitud mayor a 3,5 grados (MD).

En los primeros días de agosto continuó el bajo índice de sismicidad observado en julio. El promedio de eventos por día fue de quince, lo cual indica que aún no había cesado la actividad en Puriscal. Ocasionalmente ocurría un temblor que llegaba a ser sentido en Puriscal y otros sectores del Valle Central.

En agosto, la Red Sismológica Nacional (RSN) retiró parte de su equipo de Puriscal pero dejó en operación una estación telemétrica en la zona.

Magnitudes:

La gran mayoría de los eventos son de magnitud local menor a 2,0, por lo cual apenas son detectados por los sensores sísmicos. El cuadro 17 muestra el total de eventos por rango de magnitud durante el período mayo-julio de 1990.

CUADRO 17
Número de eventos por rango de magnitud
para sismos mayores que 3,0
en el período mayo-julio, 1990

RANGO DE MAGNITUD	MAYO	JUNIO	JULIO
3,0 - 3,9	15	38	5
4,0 - 4,9	2	16	0
5,0 - 5,9	0	1	0

El primer evento que destaca entre toda la serie ocurrió el 30 de mayo y tuvo una magnitud de 4,75 grados. Siete días

después esta magnitud es superada por la del evento del día 7 de junio la cual fue de 4,8 horas llega a ocupar la primera posición en cuanto a magnitud se refiere. Pero finalmente el día 30 de junio un sismo de 5,0 grados estremece gran parte del territorio nacional, convirtiéndose hasta ese momento en el mayor evento de Puriscal. A partir de entonces y hasta el 31 de julio de 1990, no se volvieron a registrar sismos de magnitud igual o mayor que 4,0.

Intensidades:

La gran mayoría de los temblores en Puriscal apenas fueron registrados por los sismógrafos, lo cual indica que su intensidad en la escala Mercalli Modificada (MM), alcanzó grado (I). Los eventos más fuertes fueron sentidos por todos los habitantes del sector de Santiago y provocaron la caída de objetos, agrietamientos y daños considerables en algunas edificaciones por lo cual se les adjudicó valores de intensidad en el rango de V a VII en la zona epicentral. Los lugares más alejados en los que se sintió el mayor evento de toda la secuencia (30 de junio, magnitud 5,0), según los puntos cardinales son: al norte Los Chiles, al sur Golfito, al este Limón y al oeste Nicoya. En todos estos lugares el movimiento fue percibido en forma leve por lo que su intensidad fue de II.

A continuación se presenta un desglose de las intensidades para los eventos más importantes:

Miércoles 30 de mayo: Magnitud 4,75

Intensidades: V-VI en Santiago
V en Ciudad Colón, Balsa y Tabarcia
IV en San José, Alajuela, Quepos y Atenas
III en San Carlos y San Mateo
II en Guápiles y Puntarenas

Jueves 7 de junio: Magnitud 4,8

Intensidades: V-VI en Santiago
IV-V en San José

Jueves 8 de junio: Magnitud 4,9

Intensidades: VII en Santiago
IV-V en San José

Sábado 30 de junio: Magnitud 5,0

Intensidades: VI-VII en Santiago
V en San José
IV-V en Turrialba
III-IV en Puntarenas, Alajuela y Cartago
III en Guápiles y Siquirres
II en Golfito, Los Chiles y Nicoya
(Ver el mapa de isosistas de este evento en la figura 25).

Distribución de la sismicidad:

La sismicidad en Puriscal muestra una distribución dispersa (Fig. 22), por lo cual que no se pueden apreciar claramente alineamientos preferenciales de focos sísmicos. En un principio los eventos se localizaban al NE de Santiago, es decir, entre esta localidad y Ciudad Colón. Transcurrido cierto tiempo también se percibían temblores al norte-noroeste de Santiago, principalmente cerca de Picagres y La Palma. En las etapas posteriores la sismicidad apareció al suroeste-oeste de Santiago. De esta forma migró la sismicidad alrededor de Santiago. La ubicación de los epicentros define un área de unos 112 km², aproximadamente rectangular con orientación noreste-suroeste. Los límites de este rectángulo en su eje

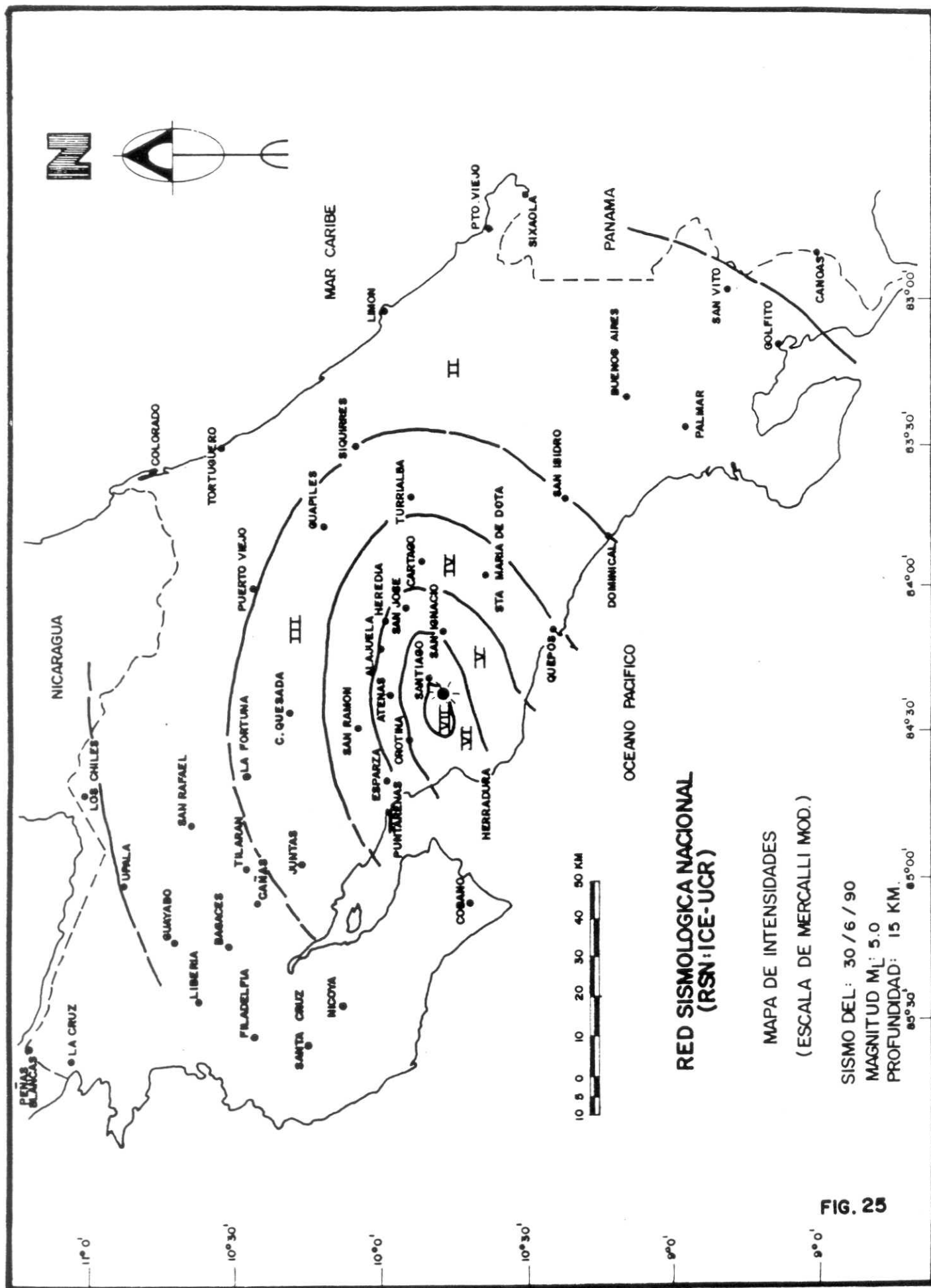


FIG. 25

longitudinal son Santa Ana al noreste y Jilgueral al suroeste. En el eje transversal los límites son Picagres al noroeste y Bajo Badilla al sureste. En el centro de este rectángulo está la Ciudad de Santiago de Puriscal.

La profundidad de los temblores oscila entre 1 y 20 km. En términos sismológicos esto es actividad superficial y a ello obedece el hecho de que se escuchan retumbos. Cuando un temblor se origina cerca de la superficie, las ondas P llegan con alta frecuencia y como la energía sísmica se libera en forma de ondas elásticas, éstas se transforman en energía sonora, lo cual conlleva al sonido o retumbo que algunas veces se escucha y que en Puriscal ha sido frecuente.

Naturaleza de las fuentes:

Este enjambre sísmico es característico de sistemas de fallamiento local de carácter superficial. No se atribuye la sismicidad a una sola falla sino a un sistema de ellas. La gran dispersión de epicentros en un área rectangular de 112 Km² sugiere que el fracturamiento de la corteza es múltiple en esa área. Un fracturamiento así produce gran inestabilidad al medio, el cual llega a conformar una zona débil en la corteza terrestre. Ante la acción de los esfuerzos regionales (esfuerzos compresivos resultantes de la interacción de placas), esas zonas débiles pierden su equilibrio por la falta de resistencia que el medio ofrece a los esfuerzos que le son

aplicados. Roto el equilibrio ocurren las dislocaciones (movimientos) en las fallas, generando la sismicidad.

Pequeños movimientos en bloques fallados podrían aumentar los esfuerzos internos en el área provocando la extensión de fracturas como sucedió con el temblor de magnitud 5,0 grados ocurrido el 30 de junio. Ese temblor ocurrió en un área donde no se estaba presentando sismicidad anteriormente, por lo que es muy probable que haya resultado de la propagación de las deformaciones locales, reactivando nuevas fracturas en la corteza.

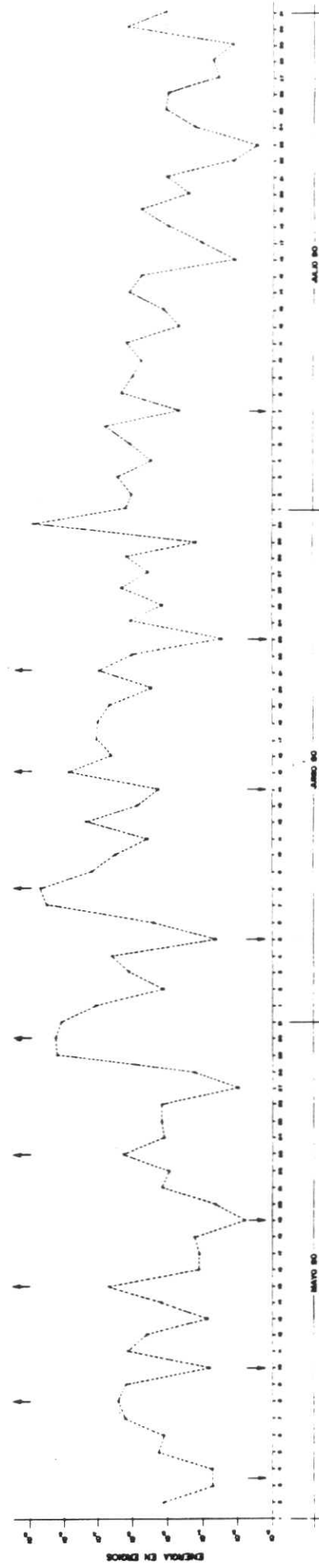
Las áreas falladas superficialmente (caso de Puriscal) no tienen gran rigidez por lo que generalmente no llega a acumular grandes esfuerzos y una vez que se acumule cierta cantidad de energía el sistema empieza a liberarla paulatinamente hasta que se disipa por completo. El detalle de las fallas que actuaron se puede encontrar en Montero et al. (en este informe).

Energía sísmica liberada:

Hasta el día 31 de julio la energía liberada en Puriscal fue $3,36 \times 10^{19}$ ergios lo cual equivale a la energía que producirían 672 toneladas de TNT (Trinito Tolueno). Ese total energético también es equivalente a la energía que produciría un solo temblor con magnitud local igual a 5,37 grados.

Para mayo y junio, aproximadamente cada siete días había un pico de energía liberada (Fig. 26). El espacio temporal

RED SISMOLOGICA NACIONAL
 1981 - ICE-UCR



CURVA DE LIBERACION DE ENERGIA EN ERGOS.
 (REGION DE PURISCA Y ALREDEDORES)

entre cada pico correspondía con períodos de acumulación de energía debidos a los esfuerzos internos del sistema, la cual posteriormente se liberaba mediante los eventos más relevantes del ejambre.

La máxima liberación de energía para este período ocurrió el 30 de junio con el temblor de magnitud 5,0, a partir de entonces se dió un decaimiento energético.

Reporte de daños:

La región de Puriscal siempre se ha caracterizado por sus frecuentes problemas de inestabilidad de laderas (Mora et al., 1990). El enjambre sísmico, a partir de mayo de 1990 no hizo otra cosa que reactivar numerosos deslizamientos pre-existentes. Fueron pocos los deslizamientos totalmente nuevos. La figura 27 muestra aquellos de mayores dimensiones que ha sido posible inventariar.

El deslizamiento principal (450 Ha, $200 \times 16 \text{ m}^3$), sobre el que se encuentra la ciudad de Santiago, aceleró su movimiento a raíz de la persistente actividad, generando daños cuantiosos en edificios públicos, habitaciones, tuberías y calles. Otras áreas afectadas por la desestabilización de las laderas fueron: Charcón, Carit, Tinamaste, Fila Picagres, Santa Cecilia, Guatuso, Candelaria, Cortezal, Santa Marta, Mercedes Sur, San Antonio y parte de los Cerros Turrubares y Potenciana. La mayoría fueron de tipo superficial

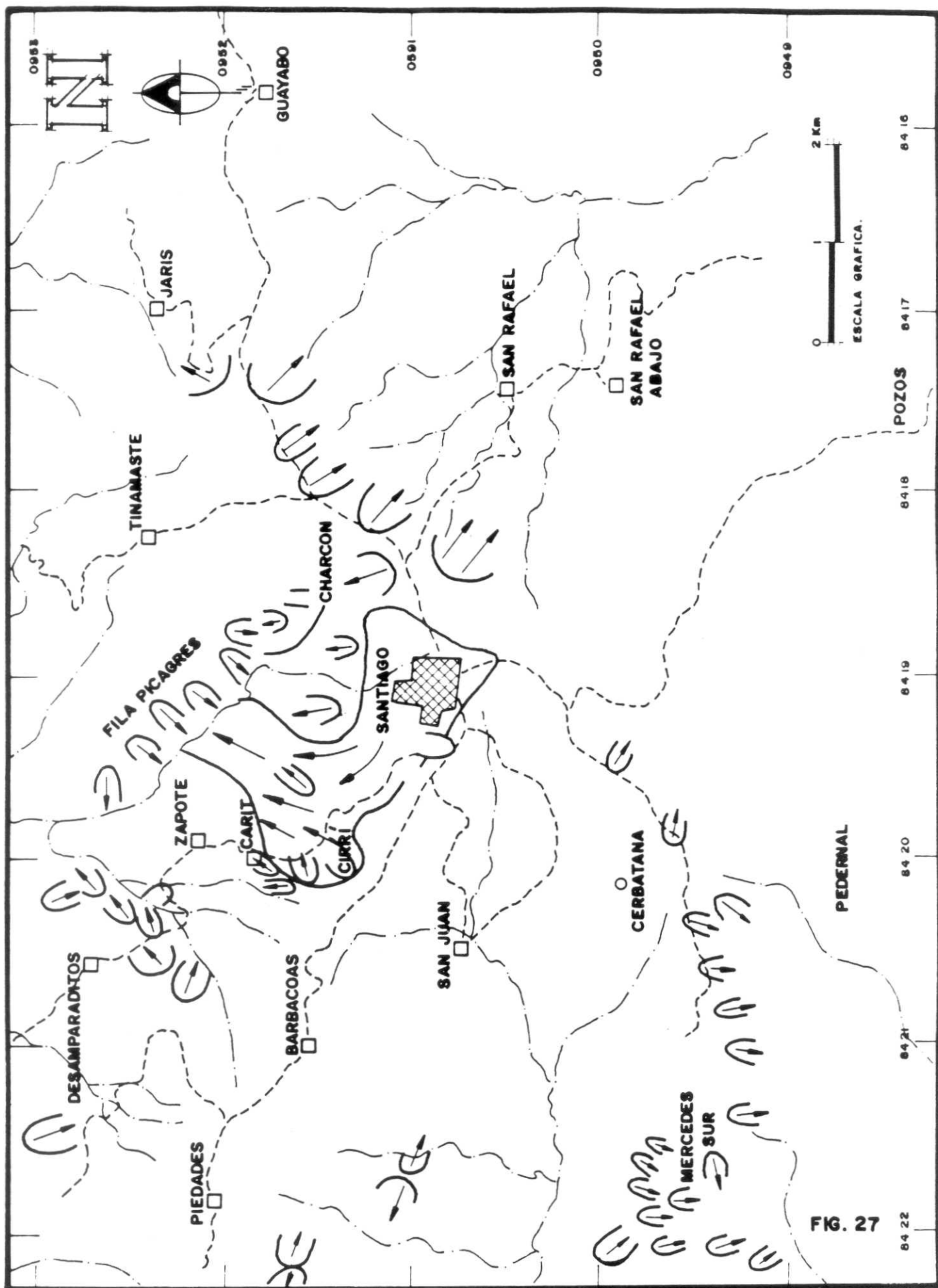


FIG. 27

movilizándose los horizontes superiores de saprolito y regolito.

Los daños que se presentan en las construcciones se deben principalmente a que no se cumple con los requisitos mínimos de ley, se construye en suelos mal compactados, deslizamientos activos, se utilizan materiales de mala calidad, falta supervisión profesional y hay una inadecuada ubicación de casas en laderas de alta pendiente, sobre bordes o al pie de ellas.

Cerca de 60 personas tuvieron que ser desalojadas de sus casas por peligro de deslizamientos y daños severos en la construcción. Del total de población de Puriscal que es de aproximadamente 22 500 habitantes, unas 3 500 personas abandonaron sus propiedades por voluntad propia y por temor a los temblores.

Las casas con daños mayores se ubicaron en: Barrio Los Angeles, San Antonio, Charcón, Barrio Carit, Desamparaditos, El Carmen, Calle Aserradero, Calle Jarazal, Piedades, Picagres, Barbacoas, Cortezal y Guatuso.

Más de 500 casas sufrieron daños. De ellas unas 175 fueron declaradas inhabitables y unas 400 necesitan reparación. Se estima que los gastos para solventar los problemas habitacionales se elevan a los 157 millones de colones. Además, los arreglos en caminos demandarán gastos del orden 10 millones de colones.

Se encontraron varios deslizamientos en el camino entre la Palma y Picagres uno de ellos localizado como a 1 km antes de llegar a Picagres y que podría ser en un posible escarpe de falla de rumbo N 55°W.

En Picagres se observaron daños en casas de mampostería, como la pulpería, la escuela del lugar y una casa de dos pisos que presentaba muchas fracturas en las paredes y vidrios quebrados. En la pulpería se cayeron todas las cosas de los estantes.

En el cerro Marín se observaron muchos deslizamientos que rasgaban la montaña como si hubieran pasado un arado.

La iglesia de Carit presentaba grietas en las paredes, una fractura en el piso de rumbo N-S, la cruz de cemento sobre una corniza se cayó.

En la iglesia de Santiago se presentaron vidrios rotos, fracturas en paredes, caída de repellos.

En Barbacoas hubo casas con serios daños en paredes de mampostería. En el centro comunal hay paredes de mampostería fracturadas y desplomadas como unos 10 cm. En la iglesia se produjeron grietas abiertas en el suelo y en el jardín trasero, en este sitio había grietas en el zacate con rumbo N45°E, unos 10 cm de longitud, 50 cm de profundidad y 10 cm de abertura máxima. En el piso de la iglesia el mosaico fue removido y había grietas de rumbo N50°E. En la plaza se observaron grietas de unos 25 m de longitud, rumbo N40°E, con desplazamiento vertical de unos 10 cm.

En Cortezal se observaron dos casas de mampostería con fracturas abiertas en paredes, muchos deslizamientos y asentamientos pequeños en el camino de acceso. Un deslizamiento cubrió parcialmente una casa. La tubería de agua potable se rompió. También una casa de madera muy dañada, descuadró la estructura con un rumbo este-oeste. La plaza presentaba grietas de rumbo N15°W de unos 20 m de longitud y abertura de unos pocos milímetros. En el centro comunal una pared de bloque ornamental se cayó, ésta tenía un rumbo E-W.

En Piedades ocurrieron muchos derrumbes en la carretera.

En Guatuso se presentaron muchas grietas y derrumbes en el camino, algunas casas con daños en paredes y pisos, incluso hubo algunas paredes y techos que colapsaron. Se observan muchos deslizamientos con rumbo aproximado de N20°E.

CAPITULO 6

EL TEMBLOR DE PIEDRAS NEGRAS

22 DE DICIEMBRE DE 1990

WILFREDO ROJAS
RAFAEL BARQUERO

Introducción:

El día sábado 22 de diciembre de 1990, un fuerte temblor se produjo a las 11:27 a.m. (hora local) tuvo una magnitud local de 5,7 y su ubicación fue 4 km al nor-noreste de Santiago de Puriscal, específicamente en Piedras Negras, Cantón de Mora. Dada su poca profundidad de 6,5 km bajo la superficie, se produjo una fuerte sacudida trepidatoria. Su origen se puede asociar a la ruptura de una falla local en la zona.

Previo a este evento se había observado un incremento en la sismicidad de esta región, desde los primeros días del mes de diciembre. El 10 de diciembre se registraron 79 eventos en la estación Puriscal (PRS) de la RSN.

Luego del sismo principal se registraron otros eventos menores (réplicas) de los cuales los más importantes se produjeron a las 11:44, 12:25, 12:56 y 12:58 (hora local). El más fuerte de estos fue el de las 12:25 con magnitud 4,6. Hasta las 15:35 se habían registrado unas 630 réplicas.

A raíz del sismo principal se produjeron daños como caída de repellos, vidrieras quebradas, caída de objetos de los estantes, etc. en diferentes partes de San José. En Cartago se

sintió fuerte, hubo también daños como agrietamientos y caída de objetos. En la ciudad de Alajuela se reportaron daños serios en construcciones de cemento. En la Garita de Alajuela la carretera se agrietó. En la zona sur de Puriscal se reportó gran cantidad de pequeños deslizamientos y hundimientos y alarma general de la población.

Generó, además, importantes deslizamientos en el cañón del río Virilla, llegando incluso a formarse varias pequeñas represas que obstruyeron el cauce. Otro importante ocurrió en los cortes del camino de acceso a la central hidroeléctrica Ventanas-Garita. Estos últimos ocurrieron al bascular y fragmentarse las columnas de ignimbrita que conforman las paredes subverticales del cañón.

Es interesante mencionar la referencia hecha por vecinos de las localidades aledañas y por pilotos de aviones, que atestiguan haber observado grandes nubes de polvo sobre el cañón del río, al ocurrir los deslizamientos durante el sismo.

Parámetros sísmicos:

Fecha: 22 de diciembre de 1990

Hora: 17:27 GMT, 11:27 hora local

Magnitud: Md=5,7 MS=6,4

Latitud: 09° 54,06'N

Longitud: 84°19,66'W

Epicentro: 4 km al NNE de Santiago de Puriscal

Profundidad: 6,5 km.

Intensidades:

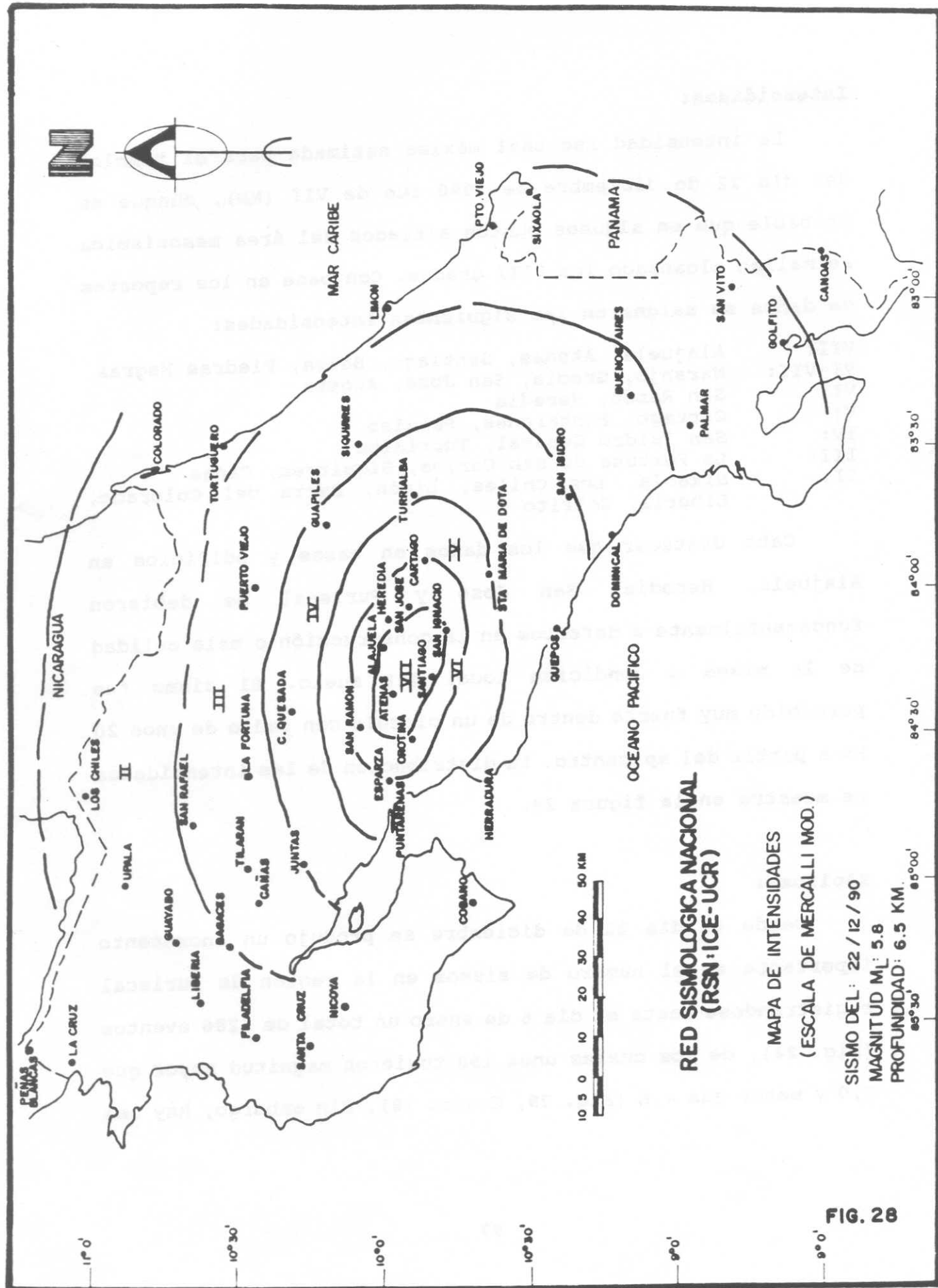
La intensidad regional máxima estimada para el temblor del día 22 de diciembre de 1990 fue de VII (MM), aunque es probable que en algunos puntos aislados del área mesosísmica se hallan alcanzado los VIII grados. Con base en los reportes de daños se asignaron las siguientes intensidades:

VII:	Alajuela, Atenas, Santiago, Balsa, Piedras Negras
VI-VII:	Naranjo, Grecia, San José, Acosta
VI:	San Ramón, Heredia
V:	Cartago, Puntarenas, Paraíso
IV:	San Isidro General, Turrialba
III:	La Fortuna de San Carlos, Siquirres, Cañas
II:	Sixaola, Los Chiles, Limón, Barra del Colorado, Liberia, Golfito

Cabe destacar que los daños en casas y edificios en Alajuela, Heredia, San José y Puriscal se debieron fundamentalmente a defectos en la construcción o mala calidad de la misma o condición local del suelo. El sismo fue percibido muy fuerte dentro de un círculo con radio de unos 20 km a partir del epicentro. La distribución de las intensidades se muestra en la figura 28.

Réplicas:

Desde el día 22 de diciembre se produjo un incremento importante en el número de sismos en la región de Puriscal registrándose hasta el día 6 de enero un total de 6286 eventos (Fig. 24), de los cuales unos 150 tuvieron magnitud mayor que 3,0 y menor que 4,6 (Fig. 29, Cuadro 18). Sin embargo, hay una



RED SISMOLOGICA NACIONAL (RSN:ICE-UCR)

MAPA DE INTENSIDADES
(ESCALA DE MERCALLI MOD.)

SISMO DEL: 22 / 12 / 90
MAGNITUD M_L : 5.8
PROFUNDIDAD: 6.5 KM.

FIG. 28

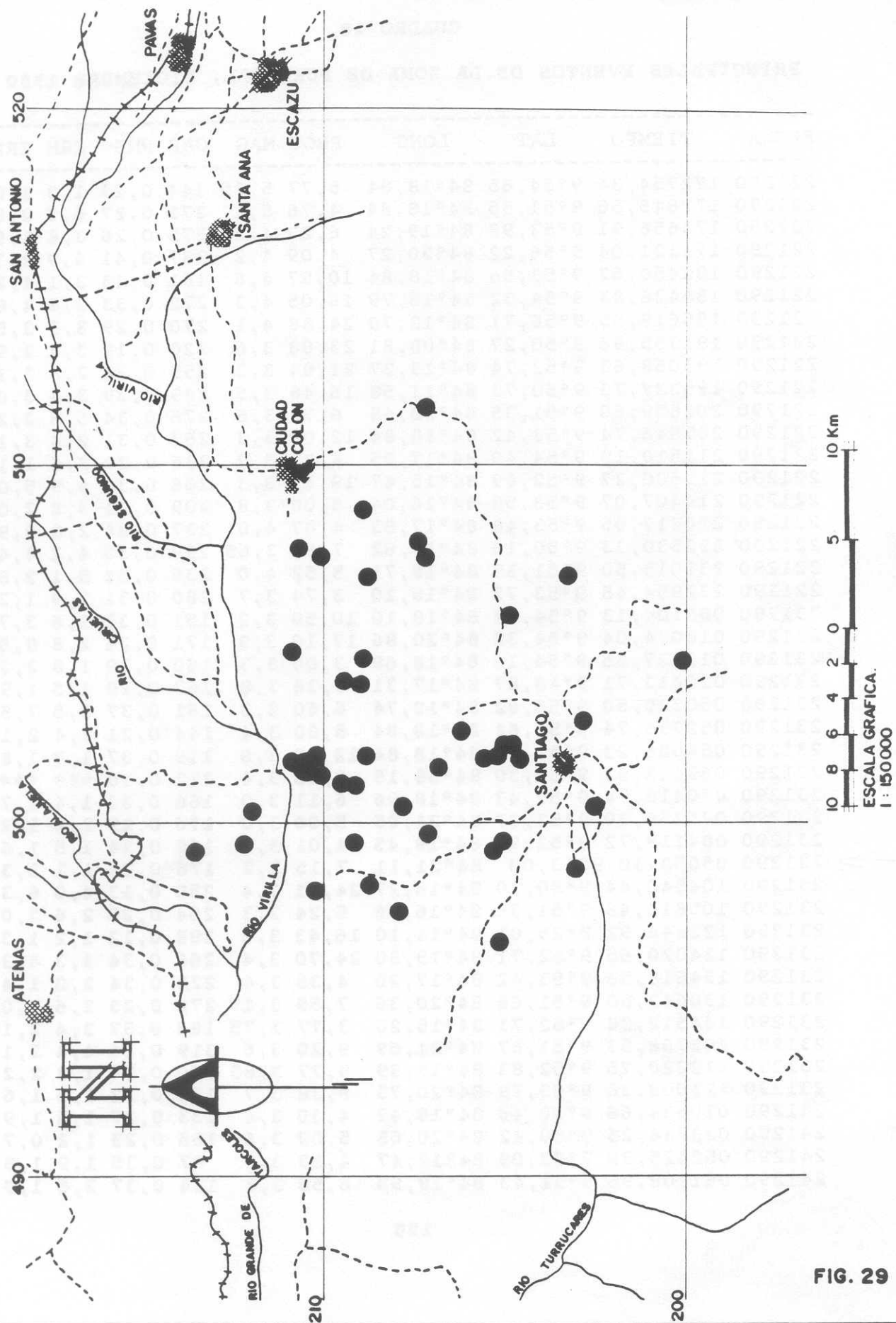


FIG. 29

CUADRO 18

PRINCIPALES EVENTOS DE LA ZONA DE PURISCAL, DICIEMBRE 1990

FECHA	TIEMPO	LAT	LONG	PROF	MAG	GAP	RMS	ERH	ERZ
221290	172754,34	9°54,65	84°18,84	5,77	5,75	144	0,27	1,3	1,0
221290	172845,50	9°51,35	84°18,84	4,76	5,1	271	0,27	6,3	2,9
221290	173656,91	9°53,98	84°19,24	6,23	4,2	272	0,26	3,8	1,9
221290	174121,04	9°56,22	84°20,27	4,09	4,2	287	0,41	4,9	2,3
221290	182450,62	9°53,66	84°18,84	10,97	4,6	151	0,43	3,1	4,2
221290	185426,83	9°54,32	84°15,79	16,05	4,3	272	0,33	3,8	4,8
221290	185618,55	9°56,71	84°12,70	24,88	4,1	270	0,29	8,3	3,5
221290	191355,96	9°50,27	84°08,81	23,08	3,6	220	0,19	3,2	2,9
221290	193058,63	9°52,74	84°13,27	21,94	3,3	257	0,28	2,8	3,1
221290	195327,73	9°50,73	84°11,58	15,48	3,5	239	0,39	3,4	3,6
221290	202859,60	9°51,35	84°20,48	6,72	3,6	276	0,34	5,6	2,2
221290	203646,74	9°53,42	84°18,84	12,00	3,3	262	0,31	2,4	3,1
221290	211510,15	9°54,49	84°17,25	4,87	3,9	236	0,29	2,6	1,1
221290	213600,27	9°52,89	84°15,47	19,71	3,3	266	0,32	4,9	5,0
221290	214407,07	9°53,58	84°16,04	5,00	3,8	209	0,21	3,8	2,0
221290	220217,05	9°53,48	84°17,83	4,07	4,0	237	0,24	2,8	0,9
221290	222530,33	9°50,10	84°19,62	7,69	3,65	239	0,35	4,2	4,4
221290	231015,50	9°51,35	84°18,71	5,52	4,0	236	0,32	5,1	2,8
221290	232954,45	9°53,75	84°19,10	3,74	3,7	280	0,31	2,9	1,2
231290	003104,13	9°54,32	84°19,10	10,59	3,2	151	0,37	1,6	3,7
231290	014034,04	9°54,38	84°20,86	17,10	3,9	171	0,24	2,8	8,5
231290	012827,85	9°54,16	84°18,68	3,00	3,3	160	0,39	1,8	2,3
231290	020413,71	9°48,87	84°17,31	3,36	3,8	167	0,28	1,5	1,9
231290	050220,50	9°55,52	84°19,74	6,40	3,3	161	0,37	3,5	7,5
231290	052736,74	9°54,64	84°18,84	5,00	3,4	144	0,21	2,4	2,1
231290	054626,23	9°51,69	84°18,84	12,00	3,8	119	0,37	1,8	1,8
231290	063413,93	9°59,30	84°38,15	0,68	3,4	312	0,10	***	***
231290	070418,74	9°52,43	84°18,96	6,11	3,0	166	0,33	1,4	4,7
231290	075256,30	9°53,07	84°21,05	5,00	3,0	176	0,29	2,2	1,2
231290	084119,72	9°52,95	84°19,45	4,01	3,4	168	0,34	1,5	1,6
231290	05052,10	9°53,00	84°21,11	7,15	3,7	176	0,28	1,1	2,3
231290	104540,44	9°50,30	84°16,27	24,71	3,4	259	0,13	4,0	6,3
231290	105814,48	9°51,35	84°16,56	5,24	3,3	264	0,25	2,6	2,0
231290	122646,92	9°25,01	84°14,10	16,43	3,6	298	0,12	1,2	1,3
231290	124020,65	9°52,71	84°15,80	24,70	3,4	266	0,34	4,3	4,3
231290	124618,56	9°53,42	84°17,20	4,35	3,4	223	0,34	3,0	1,4
231290	130642,80	9°51,66	84°20,36	7,59	3,1	276	0,23	2,6	1,0
231290	144512,28	9°52,71	84°15,20	3,77	3,75	186	0,37	3,4	2,1
231290	202708,53	9°51,67	84°21,69	9,20	3,6	319	0,24	4,4	3,1
231290	212220,75	9°52,83	84°19,89	9,77	3,65	170	0,26	1,3	2,2
231290	225008,30	9°53,79	84°20,73	9,38	3,7	172	0,32	1,5	1,6
241290	010634,66	9°50,46	84°18,42	4,30	3,4	133	0,27	1,5	1,9
241290	023746,25	9°50,42	84°20,68	5,09	3,6	155	0,23	1,2	0,7
241290	052425,38	9°52,09	84°18,47	4,59	3,9	97	0,35	1,9	1,8
241290	061108,96	9°51,43	84°18,98	6,58	3,2	124	0,37	2,6	1,9

tendencia decreciente de la actividad durante la primera semana de enero. El día 6 de enero se registraron 170 eventos.

Reporte de daños:

Alajuela: Muchos daños en edificaciones de concreto como la Municipalidad, el Mercado y las iglesias. Pánico en las personas, en Residencial Llobet casi todas las casas sufrieron daños severos. Muchos daños en casas de block y de bahareque. Por la iglesia de La Agonía hay daños casi totales en casas. En Barrio El Carmen casas totalmente destruídas, en el Almacén Los Periféricos vidrieras quebradas y cielorastos desprendidos. Se fue la luz en toda Alajuela. En barrio Las Cañas se derrumbó un muro y ocasionó la caída de un terraplén. La Catedral sufrió daños severos en las torres y paredes.

La Garita: Se hundió la carretera cerca del Tajo La Aduana.

Naranjo: Se sintió muy fuerte, en la iglesia hubo agrietamientos, en el mercado también hubo daños.

Grecia: Muy fuerte, grietas en casas de cemento y caída de objetos de estanterías.

Atenas: Muy fuerte, agrietamientos en casas, caída de objetos. Alarma en la población. Casas dañadas en urbanizaciones nuevas.

San José: Se sintió sumamente fuerte, se caían los objetos de las mesas, los cuadros se movieron, el agua de las peceras saltaba, muchas vidrieras de edificios se quebraron. Daños en edificios como la Catedral Metropolitana en donde hubo

agrietamientos y caída de repellos. Daños muy severos en el Teatro Nacional. Pánico en la mayor parte de la población. Hubo un incendio en un local comercial. Los negocios cerraron y las personas dejaron el centro de la ciudad. Muchas personas se cortaron con vidrios. En el edificio del Ministerio de Educación hubo vidrieras quebradas. En Radio Monumental caída de repellos y vidrios quebrados.

San Ramón: Se sintió muy fuerte, los objetos se caían. En el hospital se cayeron las láminas del cielo raso. Muchas personas afectadas por nervios. Se fue la energía eléctrica.

Heredía: Casas con paredes interiores desplomadas cerca de la iglesia el Carmen. Se sintió muy fuerte.

Cartago: Se reportan daños como agrietamientos en la Basílica y el Colegio San Luis Gonzaga. Se sintió muy fuerte.

Turrialba: Fuerte, pero no se caían los objetos.

Siquirres: Fuerte, pero no cayeron objetos.

Puriscal: Muy fuerte, muchos agrietamientos y deslizamientos, especialmente por San Juan. Desplome de casas.

Santa Ana: Muy fuerte, se caían objetos y estanterías. Casas dañadas.

Pital: Fuerte. Cárcel dañada.

Puntarenas: Fuerte, pero no hubo pánico.

San Vito: Se sintió con fuerza.

Jacó: Cayeron objetos de los estantes en los establecimientos comerciales.

En total se reportaron unas 100 personas heridas, que fueron atendidas por la Cruz Roja. Los daños por mercadería destruída en los negocios y en las construcciones son muy cuantiosas y pueden llegar a unos 2000 millones de colones.

La Comisión Nacional de Emergencias reportó que entre 268 y 300 casas fueron dañadas total o parcialmente en San José, Alajuela y Heredia. En cuanto a edificios públicos y comerciales, un recuento preliminar indica que no menos de 55 resultaron afectados en diferentes grados. En algunos de estos edificios, como la Catedral de Alajuela, Tribunales de Justicia, pabellones de la Universidad de Costa Rica y la Catedral Metropolitana fue necesario realizar evaluación de posibles daños estructurales. Los daños sin embargo fueron incrementándose conforme se realizaba el estudio detallado de más construcciones.

La emergencia suscitada por este temblor obligó a abrir varios albergues en diferentes lugares como Alajuela, Turrujal de Acosta, San Antonio de Belén, Barrio Los Angeles de Heredia y Brasilito de Santa Ana. Aproximadamente unas 250 personas fueron ubicadas en esos albergues.

Detalle de daños (al 24 de diciembre de 1990):

Alajuela: 100 casas clausuradas, 100 con daños severos a moderados. Edificios clausurados: Tribunales de Justicia, Colegio María Auxiliadora, Escuela Blanca, Catedral, Comandancia de la Guardia Civil. Daños en acueducto y líneas

eléctricas y telefónicas. La Presa San Miguel ubicada a unos 5 km del epicentro sufrió agrietamientos superficiales, hubo desplazamientos laterales de hasta 6 cm en la tubería de presión.

Heredia: 12 edificios con daños estructurales graves, 30 viviendas con daños estructurales graves, 200 casas con daños severos.

San José: 60 casas con daños severos. Edificios clausurados: Biblioteca de la UCR, Edificio de Microbiología UCR, edificio Magnolia, Catedral Metropolitana, Teatro Nacional.

CAPITULO 7

ACELERACIONES PRODUCIDAS POR LOS SISMOS

DE PURISCAL

ALVARO CLIMENT

Introducción:

La presa San Miguel, ubicada en Turrúcares de Alajuela, desde su construcción ha estado instrumentada con 3 acelerógrafos que permiten monitorear el comportamiento dinámico que puede experimentar la presa cada vez que es sometida a sacudidas sísmicas del suelo.

A raíz de la actividad sísmica que se presentó durante los meses de mayo y junio en la localidad de Puriscal, valiosa información concerniente a los movimientos sísmicos de campo cercano fue obtenida por los acelerógrafos instalados por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y por el Instituto de Investigaciones en Ingeniería de la Universidad de Costa Rica (IINI) en las cercanías del área epicentral.

Aceleraciones del período mayo-junio:

El Laboratorio de Ingeniería Sísmica del IINI en los días siguientes a la ocurrencia de los primeros sismos fuertes instaló un acelerógrafo en la Estación de Bomberos (estructura de concreto reforzado de dos pisos) en la ciudad de Puriscal. De los acelerogramas registrados por esta estación se determinó que las aceleraciones horizontales pico máximas

estuvieron cercanas a 0,10 g (10 % de la aceleración de la gravedad), con duraciones del movimiento fuerte entre los 3 y 4 segundos, concluyéndose que los sismos ocurridos en Puriscal no generaron fuerzas sísmicas grandes (Santana et al., 1990) en el sitio de registro. En el cuadro 19 se presenta alguna de la información.

CUADRO 19
ACELERACIONES EN SANTIAGO DE PURISCAL

FECHA DEL SISMO	HORA	DISTANCIA (km)	ACELERACIONES MAXIMAS		
			CANAL 1	CANAL 2	CANAL 3
31-5-90	21:28:19	8,7	0,031	0,023	0,033
7-6-90	11:12:08	3,2	0,057	0,056	0,044
7-6-90	18:31:51	2,2	0,101	0,086	0,112
8-6-90	07:46:32	8,3	0,023	0,014	0,023
8-6-90	07:47:00	9,2	0,025	0,014	0,023
8-6-90	09:47:48	8,2	0,034	0,017	0,035
8-6-90	16:35:36		0,030	0,021	0,022
8-6-90	17:03:48		0,027	0,016	0,018
8-6-90	18:34:48	6,6	0,080	0,131	0,086

FUENTE: LABORATORIO DE INGENIERIA SISMICA, IINI, UCR

NOTA: Valores de aceleraciones máximas en fracción de g.
g: aceleración de la gravedad, 9,81 m/seg²
canal 1: Norte
canal 2: Arriba
canal 3: Oeste

Aproximadamente 11 km al norte de Santiago de Puriscal se encuentra ubicada la Presa San Miguel, esta forma parte del Complejo Hidroeléctrico Ventanas-Garita del ICE. Para la

auscultación sísmica, la presa cuenta con tres acelerógrafos analógicos SMA-1 ubicados en la cresta, base y estribo izquierdo.

La actividad sísmica de Puriscal, debido a su cercanía, disparó los instrumentos de la presa gran cantidad de veces durante los meses de mayo y junio, obteniéndose el registro en conjunto de 43 acelerogramas asociados a 34 sismos.

Los sismos mayores registrados por estos instrumentos se ubicaron a distancias epicentrales entre 6 y 14 km, registrándose aceleraciones horizontales pico en la cresta de la presa de hasta 0,479 g, valor que representa el efecto combinado del movimiento del medio más el de la presa misma, las duraciones de los movimientos fuertes presentan valores que varían alrededor de los 3,5 segundos (Climent, 1990b).

En el estribo y base de la presa se registraron aceleraciones bastante bajas, en general presentando valores 3 o 4 veces menores que los valores de la cresta. En los cuadros 20 y 21 se presenta en forma resumida, la información sismológica de cada uno de los sismos que generó un acelerograma en la presa y los respectivos valores de aceleración horizontal y vertical para estos sismos.

CUADRO 20

**SISMOS REGISTRADOS POR LOS ACELEROGRAFOS
DE LA PRESA SAN MIGUEL
(INFORMACION SISMOLOGICA)**

No.	SISMO	HORA LOCAL	LATITUD	LONGITUD	Md	PROF. Km
1	29-5-90	13:56	9 51,54	84 15,85	4,6	15,4
2	29-5-90	04:18	9 53,89	84 14,76	3,8	13,5
3	30-5-90	04:05	9 51,19	84 16,95	4,7	13,9
4	31-5-90	00:31	9 53,92	84 14,67	3,9	23,8
5	31-5-90	02:59	9 51,80	84 16,49	4,1	20,4
6	31-5-90	08:57	9 49,72	84 20,89	4,0	04,3
7	31-5-90	09:28	9 55,13	84 16,76	4,5	22,5
8	07-6-90	11:12	9 49,30	84 18,25	4,5	09,8
9	07-6-90	11:25	9 50,27	84 17,04	3,6	11,7
10	07-6-90	06:31	9 53,41	84 18,66	4,8	05,0
11	07-6-90	06:44	9 49,51	84 16,55	3,7	01,4
12	07-6-90	07:51	9 51,32	84 18,29	3,7	18,9
13	07-6-90	11:55	9 49,56	84 16,16	3,8	12,9
14	08-6-90	07:46	9 54,18	84 15,10	4,0	02,1
15	08-6-90	07:47	9 54,20	84 15,00	4,5	20,0
16	08-6-90	07:49	9 54,17	84 14,09	3,7	26,6
17	08-6-90	09:47	9 48,46	84 15,16	4,0	06,5
18	08-6-90	09:51	9 56,06	84 14,37	3,5	26,4
19	08-6-90	01:42	9 52,25	84 15,19	4,2	22,2
20	08-6-90	06:34	9 53,91	84 16,55	4,8	14,3
21	09-6-90	08:40	9 54,37	84 18,12	4,0	12,8
22	09-6-90	04:14	9 52,63	84 14,12	3,3	17,0
23	10-6-90	01:56	9 52,68	84 18,43	3,6	14,8
24	13-6-90	11:02	9 42,49	84 19,80	4,2	01,4
25	15-6-90	08:22	9 53,91	84 16,55	4,5	08,6
26	18-6-90	03:09	9 50,23	84 21,48	3,9	13,6
27	20-6-90	10:29	9 50,23	84 18,87	3,8	04,4
28	30-6-90	08:50	9 46,75	84 20,32	5,0	12,2
29	30-6-90	08:55	9 52,49	84 30,66	4,5	15,0
30	30-6-90	08:57	9 49,43	84 20,57	4,4	21,0
31	30-6-90	09:01	9 51,33	84 16,48	4,3	15,0
32	30-6-90	11:49	9 52,12	84 19,11	4,0	20,0
33	30-6-90	12:41	9 50,57	84 16,50	4,0	15,4

FUENTE: RED SISMOLOGICA NACIONAL

CUADRO 21
ACELERACIONES PICO PRESA SAN MIGUEL

NO	SITIO DE REGISTRO	DISTANCIA AL EPICENTRO	ACELERACION PICO		DURAC. MOVIM. FUERTE
			% ACEL. HORIZ.	GRAVEDAD (%G) VERT.	
1	cresta	11,5 km	10,1	10,1	1,5 seg
	base		2,8	2,7	
2	cresta	11,0 km	2,1	2,6	1,75 seg
3	cresta		15,9	15,8	
	base		5,8	6,1	1,50 seg
4	cresta	13,0 km	2,1	3,7	0,60 seg
5	cresta		5,3	4,2	
6	cresta	6,0 km	12,8	5,3	1,00 seg
	base		3,3	3,3	
7	cresta	14,0 km	5,3	5,0	1,50 seg
8	cresta		12,8	13,3	
	base		4,4	4,9	
9	cresta	6,0 km	14,9	14,9	3,50 seg
10	cresta		3,2	2,9	
11	cresta		45,7	19,1	
	base		10,0	13,0	
	estribo IZ		8,1	10,3	
12	cresta		4,8	4,6	
13	cresta		6,1	6,9	
14	cresta		10,6	15,4	
15	cresta	9,5 km	10,1	12,8	0,5
	estribo IZ		1,7	1,1	
16	cresta		28,7	24,7	8,5
17	cresta		2,6	2,1	
19	cresta	6,5 km	5,3	4,8	3,2
20	cresta		4,8	6,3	
21	cresta		28,7	36,2	-
	estribo IZ		6,5	8,1	
	base		12,8	9,8	6,7
22	cresta	6,5 km	15,4	15,9	-
23	cresta		6,4	5,8	
24	cresta		2,6	2,6	1,0
25	cresta		6,4	4,8	
26	cresta	16,0 km	46,9	16,6	20,1
	estribo IZ		6,4	4,3	
27	cresta		5,8	10,6	3,2
	estribo IZ		1,7	1,1	
28	cresta		3,2	1,6	1,0
29	cresta		17,0	14,9	
	estribo IZ		2,9	2,2	1,5
30	cresta		14,4	14,9	6,9
31	cresta		6,9	14,9	2,6
32	cresta		4,2	3,2	1,6
33	cresta		3,7	5,9	2,1
34	cresta		9,6	13,8	3,7

Aceleraciones del sismo del 22 de diciembre de 1990:

A raíz del temblor del 22 de diciembre de 1990, los acelerógrafos instalados en la represa San Miguel fueron activados. El epicentro de este sismo se ubicó aproximadamente a 5 km de la presa, lo que permitió registrar las mayores aceleraciones obtenidas desde que fueron instalados los instrumentos. Durante el sismo, en la cresta de la presa se registraron aceleraciones de hasta 84 % de la aceleración de la gravedad (g) y en roca del 54 % de g, niveles de aceleración bastante altos, pero comparables con los obtenidos durante los sismos de Managua (1972) y San Salvador (1986), que se registraron en condiciones similares.

Acelerograma de la base de la presa:

En este registro sobre suelo, la componente transversal presenta la aceleración pico horizontal mayor, con un valor de 84,2 % g a los 2,6 segundos de haberse disparado el instrumento, además de ser este el valor pico máximo registrado por los 3 instrumentos, presenta un período predominante de 0,15 segundos. El movimiento fuerte se mantuvo por espacio de 0,15 seg, disminuyendo luego rápidamente a valores menores del 10% de g.

Acelerograma del estribo izquierdo:

En este registro sobre roca la componente transversal presenta la aceleración horizontal pico máxima, con un valor de $54,9 \%$ g y ocurrió 3,2 segundos después que el instrumento fue activado. Estos picos de la señal sísmica presentan períodos predominantes de 0,15 seg. El movimiento fuerte de la señal tiene una duración de 2,5 seg, decayendo rápidamente 4,2 seg después de disparado el instrumento.

Acelerograma de la cresta de la presa:

Una vez que el acelerógrafo fue activado 1 seg después arribaron las ondas S, cuyo pico máximo de aceleración se presentó a los 3,4 seg, con un valor de $68,6 \%$ g en la componente longitudinal. El movimiento fuerte de la señal se mantuvo por espacio de 3,5 seg disminuyendo luego suavemente y permaneciendo la presa en oscilación durante 21 segundos, con aceleraciones superiores al 5% g, la señal pico presenta períodos predominantes de 0,22 seg.

Los registros de la base y estribo presentan un período predominante de 0,15 seg, durante los picos del movimiento fuerte. En el registro de la cresta el período predominante es de 0,23 seg lo que denota influencia del modo de oscilación de la presa en el movimiento registrado.

De la inspección visual de los acelerogramas se observa cierta similitud en la forma de la señal registrada en la base y cresta de la presa cuando lo que se esperaría es una cierta

amplificación de la señal al pasar por el cuerpo de la presa. Este efecto podría deberse a que la presa está ubicada prácticamente sobre el foco del sismo, siendo la presa y el medio sometidos a un comportamiento especial por la sacudida sísmica y vibrando casi como un solo cuerpo y no separadamente.

Efecto del temblor sobre la presa:

Aunque la presa San Miguel fue diseñada para cargas sísmicas mucho menores a las que se presentaron durante la ocurrencia del sismo del 22 de diciembre, los efectos de la sacudida sísmica en la integridad física de la presa son menores o de poca consideración.

El efecto más visible y preocupante en un principio fue la presencia de fisuras longitudinales a lo largo de la presa. Estas fisuras tenían aberturas de unos 10 cm y profundidades máximas de 1,7 m y se produjeron debido a asentamientos en los materiales granulares de los filtros de la presa.

Conclusiones:

La presa San Miguel, ubicada dentro del área mesosísmica del enjambre de Puriscal ha estado sometida a aceleraciones fuertes a raíz de los sismos principales de la zona, alcanzándose valores máximos de 0,744 g, con aceleraciones máximas sostenidas de hasta 0,5 g por espacio de 1,5 segundos

y niveles de aceleración promedio superiores a 0,1 g durante unos 6 segundos.

El efecto de la amplificación de la señal sísmica al pasar por el cuerpo de la presa fue relativamente bajo. La sacudida sísmica provocó agrietamientos superficiales en la presa posiblemente asociados a asentamiento de los materiales de los filtros.

Para los altos niveles de aceleración registrados la presa prácticamente no sufrió daños de consideración gracias al buen diseño y a la corta duración del movimiento fuerte.

CAPITULO 8

INTERPRETACION NEOTECTONICA

WALTER MONTERO
ILEANA BOSCHINI
WILFREDO ROJAS

Antecedentes históricos:

Estudios respecto a la neotectónica de la región de Puriscal anteriores al presente trabajo son escasos, Montero y Morales (1985) estudiaron la sismicidad del suroeste del Valle Central cubriendo en su investigación, la región donde ocurrió el enjambre de 1990. Con base en el estudio de microtemblores determinaron una serie de zonas sísmicas cuya ubicación espacial es muy similar a la actividad registrada durante la primera fase del enjambre y localizada al NNE de Puriscal. Esto muestra que este sistema de fallamiento tenía actividad al nivel de microtemblores antes de la ocurrencia del enjambre de Puriscal de mayo-julio de 1990, realizan además mecanismos focales compuestos para estos microtemblores, los cuales correspondieron principalmente con fallamiento de desplazamiento de rumbo con planos nodales de rumbo NE y desplazamiento sinistral y rumbo NW de desplazamiento dextral. Este tipo de fallamiento corresponde con el observado en el enjambre de sismos de 1990.

Más recientemente a escala regional, Denyer y Montero (1988) realizaron un mapa de lineamientos y fallas del Valle Central que incluyó la región de Puriscal. En este mapa los

lineamientos y fallas principales tienen rumbos predominantes al NW y NE. El análisis sin embargo, no discrimina entre los lineamientos o fallas de carácter neotectónico de los correspondientes a otras épocas geológicas. Montero y Morales (1990) describen las estructuras neotectónicas de Costa Rica y a partir de esta información definen los esfuerzos neotectónicos que operan a través de diferentes regiones del país. El esfuerzo compresivo horizontal máximo (ECHM) que corresponde a la región de Puriscal tiene un rumbo N0°E. Este se dedujo de los mecanismos focales de Montero y Morales (1985) explicados previamente. En este mismo estudio se plantea que la estructura neotectónica más relevante y cercana a Puriscal es la denominada falla Longitudinal, que tiene posiblemente movimiento predominante dextral, esto de acuerdo al campo de esfuerzos neotectónicos que opera regionalmente.

Fuentes sísmicas:

Un estudio detallado de los posibles lineamientos que pueden ser fallas neotectónicas, fue realizado en la región de Puriscal mediante la revisión de fotos aéreas de escala 1:60 000. Posteriormente un control de campo fue ejecutado en aquellos lineamientos que de acuerdo a la ubicación de los epicentros, sugerían ser las posibles fuentes sísmicas del enjambre de Puriscal de 1990. A continuación se describen los diferentes lineamientos y fallas neotectónicas definidas a partir del análisis previamente descrito (Fig. 30).

Lineamiento Jateo:

Tiene una longitud de aproximadamente 11 km y rumbo N60°W a N70°W forma parte de una serie de tres lineamientos con rumbo similar, siendo éste el que se ubica hacia el NNE de la serie (Fig. 30). Hacia el WNW termina cerca del poblado de Balsa y al ESE se alinea con el río Chile. Cerca de su extremo ESE puede continuarse con un lineamiento que se alinea con las nacientes de la Quebrada Grande y el borde ENE del cerro Antonio. Muestra la presencia de una serie de rupturas de pendiente alineadas en estribaciones montañosas contiguas. La expresión morfológica es moderada. Este lineamiento no fue estudiado en el campo excepto cerca del poblado de Picagres. En este sector, se encontró una estructura sinforme en las ignimbritas, aunque un origen tectónico para el mismo no puede ser concluido. Esta última se ubicaría aledaña al lineamiento en el bloque NNE. Cambios litológicos no se observaron en este sector a un lado y otro del lineamiento.

Lineamiento Desamparaditos:

Tiene una longitud de 9 Km y un rumbo N70°W. Forma parte de una serie de tres lineamientos aproximadamente paralelos (Fig. 30). Tiene una expresión moderada. Puede considerarse que se continúa con la falla Picagres, aunque esta última tiene un cambio de rumbo respecto a la anterior y además la falla Picagres tiene una expresión morfológica más prominente

y diversas evidencias de campo que señalan su actividad reciente.

En el extremo WNW el lineamiento Desamparaditos se alinea con el río Chucás, presentando un escarpe prominente en su borde SSW. Al salir del valle del río Chucás al ESE, se continúa con una serie de descansos (sector de Llano Grande y Desamparaditos) y rupturas de pendiente en las estribaciones montañosas. No se tienen evidencias directas de campo que definan la presencia de una falla neotectónica en correspondencia con este lineamiento.

Lineamiento Barbacoas:

Tiene una longitud de 8 km y un rumbo entre N65°W y N45°W. Se extiende desde cerca de Piedades, pasando al norte de Barbacoas, borde SSW de Santiago de Puriscal y terminando al oeste de San Rafael Abajo. Forma parte de una serie de cuatro lineamientos con rumbo similar (Fig. 30). La expresión morfológica de este lineamiento es débil, está evidenciado por la ruptura de pendientes en estribaciones montañosas, descansos y la presencia de un escarpe mirando al NNE. Control de campo para definir el origen de este lineamiento no fue realizado.

Cerca del extremo ESE del lineamiento, una aparente avalancha de lodo con una morfología bastante reciente, cubre el valle sur de la quebrada Grande y el norte de la quebrada

Cacao. El origen de esta última no es conocido, pero un origen sísmico no puede ser descartado.

Falla Víbora:

Por una longitud de aproximadamente 6 km tiene un rumbo N70°W. Al este de la carretera que conduce a Parrita la falla se divide en dos ramales y cambia su rumbo al N90°E. Ambos ramales tienen una longitud similar de aproximadamente 7 km cada uno. Entre ambos se observa una morfología deprimida respecto al terreno aledaño. La geometría sugiere la presencia de un relevo distensivo o cuenca de tracción, asociado a una falla con una componente de desplazamiento de rumbo de tipo dextral.

Evidencia sismológica de este tipo de movimiento, como se verá más adelante, se tiene a partir de mecanismos focales relacionados al ejambre de Puriscal. Sin embargo, control de campo no fue realizado en esta zona, por lo que esta interpretación preliminar debe ser confirmada o reinterpretada. Dentro de esta unidad se localizan los poblados de Bajo Legua y Pedernal. La falla se evidencia por la presencia de un valle de falla en su sector oeste, alineándose con el río Quebrada Grande. Una silla de falla se observa en la zona del poblado de Santa Marta.

Control de campo fue realizado al oeste del poblado de Santa Marta. Diferentes evidencias señalan la presencia de una falla en esta zona, las cuales enumeramos:

- 1- Los estratos sedimentarios de lutitas y areniscas posiblemente pertenecientes a la Formación Pacacua, localizados sobre la margen sur de la Quebrada Grande, son interrumpidos a lo largo de su rumbo, al pasar de la margen sur a la norte. En la parte norte, depósitos de brechas volcánicas y aluviones afloran, La edad de estos depósitos es desconocida pero posiblemente son pliocénicos ó posteriores.
- 2- Sobre el lecho del río, una zona de alteración hidrotermal se observó con un rumbo similar al de la falla.
- 3- Los aluviones pliocénicos o posteriores, se encontraron estriados con ángulo de desplazamiento cercano a 0 grados. No se pudo definir movimiento relativo de los bloques de falla.

Las anteriores evidencias de falla sin embargo, no demuestran el carácter neotectónico de la misma, aunque sí avalan la existencia de éste.

El evento del 30 de junio ($M_d = 5,0$) tuvo un epicentro desplazado unos pocos kilómetros al norte de esta falla. La recopilación de información macrosísmica revela que las intensidades MM en la población de Santa Marta y en la Fila Víbora alcanzaron el valor de VII, ubicándose por consiguiente esta zona dentro del área macrosísmica. El mecanismo focal del evento principal tiene un plano nodal de rumbo más al norte ($N37^\circ W$) que el de la falla Víbora. El movimiento correspondería a una falla de desplazamiento de rumbo dextral con una componente inversa, esta última del orden del 30%.

Con base en la evidencia de campo sobre la existencia de la falla, la expresión y los criterios geomorfológicos y geométricos y finalmente la evidencia sismológica, nos llevan a sugerir que la falla Víbora, es la falla donde se generó el evento del 30 de junio de 1990.

Sistema de fallas San Antonio:

Se extiende con rumbo variable desde el extremo este del lineamiento Jateo hasta el oeste de San Rafael Abajo. Al norte se inicia con un rumbo $N40^{\circ}W$, alineándose con un afluente del río Chile por una extensión de aproximadamente 1,5 km. Al norte de Tinamaste cambia su rumbo al $N20^{\circ}W$, alineándose en este sector con la quebrada Grande y pasando por el flanco ENE del cerro Antonio. Lo anterior por una extensión de 2,5 km. Un relevo izquierdo se presenta en este sector, provocando que la falla se continúe por el flanco WSW del cerro Antonio y alineándose en ese sector con el valle estrecho donde se ubica el poblado de San Antonio. Esta clase de relevo sugiere que el medio está sometido a un par de fuerzas simple dextral. En este sector la falla tiene una expresión prominente. La falla en esta zona cambia de un rumbo $N20^{\circ}W$ a un rumbo $N0^{\circ}E$ y termina en su extremo sur con un rumbo $N20^{\circ}E$, al oeste de San Rafael Abajo. En esta zona la falla aparentemente corta a través de aluviones represados porque el bloque del lado este tendría levantamiento. La longitud total de este relevo es de 4 km.

Evidencias de la existencia de esta falla se encontraron en ambos flancos del cerro Antonio. En el sector este, se encontraron fallas secundarias con rumbo similar al de la falla principal y con estrías de ángulo de desplazamiento cercano a cero grados. En el sector del cerro Antonio se encontraron resultados similares. Las anteriores fallas además de otros juegos, se presentan dentro de depósitos volcánicos de tipo brecha-tobas brechosas a tobas de lapilli color morado-violáceo, litologías posiblemente pertenecientes al Grupo Aguacate de edad Pliocénica.

En el poblado de San Antonio una serie de fracturas, algunas con desplazamiento de tipo dextral y con el mismo rumbo que la falla San Antonio se encontraron cortando diversas obras civiles.

Efectivamente en el atrio de la iglesia se observó una fractura de rumbo N13°E originada por el sismo del 8 de junio de las 00:31 (GMT) de magnitud Md 4,8. Un desplazamiento dextral de 0,3 cm fue medido. Esta fractura se continúa dentro de los jardines de la misma iglesia. Fracturas de rumbo similar fueron definidas en la calle que conduce a Tinamaste (Boschini, com. verbal, 1990). Al oeste de la anterior calle, una fractura de rumbo N12°W corta en forma continua a través de varias propiedades. Las diversas construcciones que se encuentran a lo largo de la traza de la fractura fueron sometidas a un esfuerzo cortante de tipo dextral, con desplazamientos variables que oscilan alrededor de 0,5 cm.

Así, por ejemplo, en la casa de la señora Aracelia Herrera, la fractura tiene 0,8 cm de salto dextral en un terreno de roca meteorizada. Hacia el sur corta una tapia con 0,5 cm en el mismo sentido. Las casas de Edgar Garita y de su madre, son atravesadas por la fractura. Más al sur la fractura entra en un cafetal, donde las grietas tienen rumbo N10°W. En el mismo rumbo, la fractura atraviesa la casa de la señora Yamileth Porras y tiene un salto dextral de 0,5 cm. Desplazamientos verticales también fueron observados en algunos casos, pero estos no fueron de signo constante en cuanto al bloque que relativamente se hundía. Los saltos más evidentes fueron donde la fractura cortó la carretera a Santiago y en un camino secundario que se dirige de San Antonio con rumbo hacia Charcón. La mayoría de las casas que fueron declaradas inhabitables en San Antonio por la Comisión Local de Emergencias, se localizaron a lo largo de esta fractura. En zonas muy cercanas los daños observados fueron menores. La interpretación es que la falla San Antonio en este sector alcanzó a romper la superficie del terreno, por lo que los daños observados se deben a la ruptura de la falla en superficie. Este sería el primer caso reportado de este tipo de daño en Costa Rica, el cual se asocia a eventos de magnitudes M_d entre 4,5 y 4,8, ocurridos entre los días 7 y 8 de junio de 1990.

Sistema de fallas Picagres:

Consiste en una serie de lineamientos y fallas que se inician con la falla Picagres, la cual se une con el lineamiento Desamparaditos al noroeste. En este sector se inicia con un rumbo $N50^{\circ}W$ alineándose con el río Picagres por una extensión de aproximadamente 2 km. En esta zona, se encontraron evidencias de la existencia de la falla. La falla discurre por un valle asimétrico con un escarpe prominente en el lado NE y una pendiente más tendida en el lado SW. También se observaron descansos entre las estribaciones facetadas. Presencia de estructura en copa de vino y un afluente del Picagres de valle profundo que se halla desplazado en forma dextral también son observables en este sector de la falla. Algunos afluentes del lado NE de la falla, al atravesarla tienen saltos de agua del orden métrico. En el lecho del río, una zona de falla de un ancho de hasta 20 m, se observó cortando un flujo piroclástico de color morado-violáceo. La zona de falla presenta una fuerte alteración hidrotermal de color amarillo-grisáceo con presencia de pirita. Una serie de fracturas paralelas de rumbo $N15^{\circ}W$ con estrías horizontales marcan la traza de la falla en este sector. No se pudo determinar el desplazamiento relativo de los bloques en este sector. Al SW y adyacente a la zona de falla, se observó un coluvio basculado al oeste. Expresión morfológica de este basculamiento también se observó en zonas aledañas. La zona de falla anteriormente descrita está localmente recubierta por

aluvión. El contacto entre ambos parece estar fallado. Fallas dentro del aluvión no fueron claramente definidas, aunque interrupciones locales de estratos arenosos en el aluvión se observaron directamente arriba de las fallas presentes dentro de la zona de falla previamente descrita. La ausencia de fallas claramente definidas dentro del aluvión puede ser resultado de la falta de compactación de estos depósitos. Al unirse la quebrada Marín con el río Picagres, la falla cambia su rumbo hacia el NO°E y además se divide en varios ramales. La extensión de estos ramales es entre 3 y 4 km. El ramal que corta al lado este del cerro Marín y que pasa por el poblado de Charcón parece desplazar dextralmente una secuencia de una lava sobreyaciendo un aluvión que buza S62°E sobre la carretera a Santiago. Las secuencias volcánicas anteriormente descritas deben corresponder con un vulcanismo contemporáneo al del Grupo Aguacate de edad Pliocénica.

La ubicación de una serie de epicentros del enjambre de Puriscal de 1990 alineados con este sistema de fallas y las soluciones de los mecanismos focales de estos eventos individuales, nos lleva a sugerir que el mismo se reactivó durante esta actividad sísmica, aunque falta la evidencia de ruptura en superficie. Esto último podría ser debido a que el trabajo de campo se realizó varios meses después de ocurrida la actividad sísmica principal o la baja magnitud de los sismos y a la profundidad de los eventos. Al considerar conjuntamente las diferentes evidencias de campo, morfológicas

y sismológicas, podemos definir que este sistema de fallas tiene un movimiento predominantemente dextral.

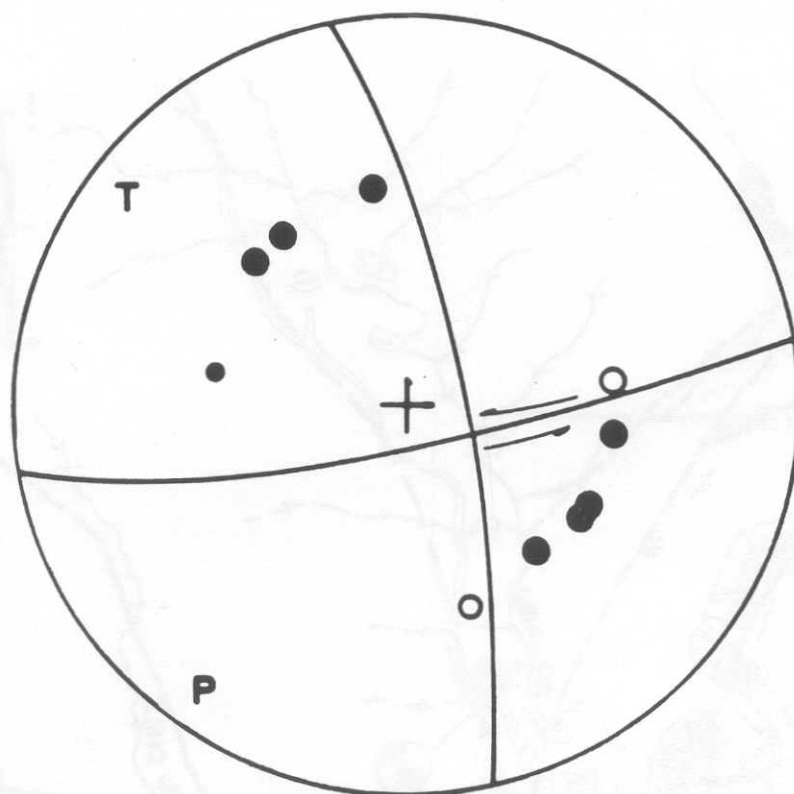
Interpretación tectónica:

La solución del mecanismo focal para el temblor del 22 de diciembre ($M_L = 5,7$) muestra 2 planos nodales (Fig. 31), el primero de rumbo $N80^\circ E$ y el segundo de rumbo $N12^\circ W$. Con base en la distribución de epicentros de réplicas y daños observados se puede seleccionar como plano de ruptura el de rumbo $N80^\circ E$ que coincide con el extremo oeste del lineamiento tectónico de río Virilla (Fig. 32). Este lineamiento tiene una longitud de 50 km y en el sector de Piedras Negras, al norte de Santiago de Puriscal, tiene un rumbo aproximado este-oeste, variando a un rumbo $N60^\circ W$ a partir del poblado de La Palma y extendiéndose hacia el sureste.

Conclusiones:

La actividad sísmica registrada durante 1990 en Puriscal y Mora fue originada por una serie de fuentes sísmicas que habían presentado relativamente poca actividad histórica.

La actividad sísmica que se presentó desde mayo hasta junio de 1990, caracterizada por un gran número de eventos de magnitudes pequeñas y moderadas, originados en fuentes múltiples, permiten catalogarla como "enjambre sísmico", pero el evento del 30 de junio y el del 22 de diciembre constituyen dos rupturas fuera del patrón de tipo enjambre y más bien



TERREMOTO DE PIEDRAS NEGRAS 22 DIC. 1990

Md : 5,7

FIG. 31



LINEAMIENTOS SUGESTIVOS
DE ACTIVIDAD TECTÓNICA
RECIENTE.

ZONA DE ALUVIONES (RE-
PRESADOS) Y TERRAZAS
(TB TERRAZA BASCULADA)

BUZAMIENTO FOTOGEOLÓ-
GICO.



DIRECCIONES DOMINANTES DE FRACTURAS Y
DIRECCIONES DE ESFUERZOS TENSIONALES
ASOCIADOS.

FALLA POSIBLEMENTE NEOTECTÓNICA, FLECHAS
INDICAN MOVIMIENTO RELATIVO.

DESPLAZAMIENTOS.



UBICACION Y MECANISMO FOCAL, SISMO 22-12-90



FIG. 32

corresponden con una secuencia sísmica de evento principal y réplicas. La energía total liberada por más de 30 mil eventos registrados en la zona es de $1,65 \times 10^{20}$ ergios, equivalente a un evento de magnitud 5,8.

El estudio de fotos aéreas y el trabajo de campo, acompañado del análisis de parámetros físicos de los temblores principales permiten definir alineamientos importantes con rumbos predominantes NW-SE y mecanismos de ruptura de tipo transcurrente dextral que pueden ser las fuentes de las diferentes series sísmicas de Puriscal, excepto por la del sismo del 22 de diciembre que es de corrimiento lateral sinistral en una falla de rumbo ENE.

Las evidencias neotectónicas y sismológicas indican que el enjambre de Puriscal-Mora se originó en tres sistemas de fallas principales: el primero corresponde a las fallas San Antonio-Picagres, donde se tiene evidencia de campo que un segmento de 300 m alcanzó a tener ruptura superficial en la zona del poblado de San Antonio, explicándose de esta forma los daños en construcciones que se presentaron a lo largo de la traza de la falla. Este sistema de fallas tiene un rumbo que varía entre $N40^{\circ}W$ y $N0^{\circ}W$; son fallas relativamente cortas, capaces de generar eventos de magnitudes como las observadas o ligeramente superiores. Tienen movimiento predominantemente dextral, que es similar al de la falla Longitudinal y que es resultado de esfuerzos regionales con el ECHM de rumbo $N0^{\circ}E$. Este sistema se activó durante la primera fase del enjambre

(mayo-junio). El segundo sistema de fallas corresponde a la falla Víbora. Evidencia sismológica y neotectónica sugiere que esta fue la fuente sísmica del evento del 30 de junio de 1990 ($M_d = 5,0$). La falla Víbora tiene rumbo $N70^\circ W$, se extiende por una distancia acumulada de 18 km, aunque debe aún comprobarse la existencia de la misma en el sector este. Tiene movimiento oblicuo dextral-inverso. El tercer sistema lo constituye el lineamiento Virilla, el cual tiene una longitud de 5 km y un rumbo aproximadamente ENE-WSW. La solución del mecanismo focal para el temblor del 22 de diciembre ($M_d = 5,7$), posiblemente originado en esta fuente, muestra un plano nodal de rumbo $N80^\circ E$ que coincide bastante bien con este lineamiento.

REFERENCIAS

Astorga, A.; Fernández, J.A.; Barboza, G.; Campos, L.; Obando, J.; Aguilar, A.; Obando, L. (en prensa): Sedimentary basins of Costa Rica: Late Mesozoic-Cenozoic evolution and hydrocarbon potential.- Memories Symposium Energy and Mineral Potential of the Central American-Caribbean Region, San José, Costa Rica, March 5-9, 1989.

Barquero, R., 1990: Sismicidad y tectónica de la región NW de Costa Rica con énfasis en la zona del Proyecto Geotérmico Miravalles.- Tesis de Licenciatura. Escuela Centroamericana de Geología, Univ. de Costa Rica, 117 págs + 7 anexos.

Bath, M., 1980: Introduction to Seismology.- Second Revised Edition.

Baumgartner, P.; Mora, C.R.; Butterlin, J.; Sigal, J.; Glacon, G.; Azéma, J.; Bourgois, J., 1988: Sedimentación y paleografía del Cretácico y Cenozoico del litoral pacífico de Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central 1: 57-136.

Boschini, I.M., 1988: Los temblores sentidos en Costa Rica durante el año 1987: Enfoque hacia las grandes obras del ICE.- Inf. Interno Depto. Geología, ICE. 16 págs. + 19 figs. + 5 tablas.

Brown, G.; Rymer, H.; Dowden, J.; Phiroze, K.; Barquero, J. Morales, L.D., 1989: Energy budget for Poás crater lake: implications for predicting volcanic activity.- Nature. 339, 6252: 370-373.

Buffler, R.T.; Matumoto, T.; Crowe, J.C., 1985: Cross sections Costa Rica Margin Map.- En: Middle America Trench off Western Central America, J. Ladd y R. Buffler (editores).

Byrne, D; Davis, D; Sykes, L., 1988: Loci and maximum size of thrust earthquakes and the mechanism of the shallow region of subduction zone.- Tectonics 7, 4: 833-857.

Campbell, K., 1985: Strong motion attenuation relation. A ten years perspective.- Earthq. Spectra. 1, No. 4.

Carr, M.; Stoiber, R., 1977: Geologic setting of some destructive earthquakes in Central America.- Geol. Soc. Am. Bull. 88: 151-156.

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.- Rev. Geof. Int. 24,2: 315-332.

Climent, A., 1990a: Análisis preliminar de acelerogramas del sismo del 25 de marzo de 1990.- Inf. Interno ICE, 13 págs.

Climent, A., 1990b: Sismo del 22 de diciembre de 1990. Análisis preliminar del acelerograma registrado en la Presa San Miguel.- Inf. interno ICE, 15 págs.

Corrigan, J.; Mann, P.; Ingle, J.C., 1990: Forearc response to subduction of the Cocos ridge Panamá-Costa Rica.- Geol. Soc. Am. Bull. 102: 628-652.

Chinnery, M.A., 1969: Earthquake magnitude and source parameters.- Bull. Seismol. Soc. Am. 59: 1969-1982.

Denyer, P.; Montero, W., 1988: Mapa geo-estructural y sismos del Valle Central, escala 1:150 000.- Inst. Geogr. Nal., Costa Rica.

Fischer, R., 1980: Recent tectonic movements of the Costa Rica Pacific Coast.- Tectonophysics. 70: T25-T33.

González Víquez, C., 1910: Temblores, terremotos, inundaciones y erupciones volcánicas en Costa Rica, 1608-1910.- 200 págs. Tipografía Avelino Alsina, San José.

Gutiérrez; Soley, 1990: Tsunami provocado por el sismo de Cóbano (25 marzo de 1990).- Cartel Inauguración Centro de Investigaciones Geofísicas y Estación receptora de imágenes de satélite. 29-30 nov. 1990.

Güendel, F., 1987: Evaluación del potencial sísmico en la península de Nicoya, Costa Rica.- Terceras Jornadas Geol. de Costa Rica, p. 35.

Hare, P.N.; Gardner, T.W., 1985: Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Península, Costa Rica.- Cap. 4. En Hack, J. y Moresawa, A.M. (ed.) Tectonic Geomorphology Proceedings of the 5th Geomorphology Symposium Series, Quinghamton, 76-104.

Iida, K., 1965: Earthquake magnitude, earthquake fault and source dimensions.- J. Earth. Soc. Nagoya Univ. 13: 115-132.

Kanamori, H., 1977: The energy release in great earthquakes.- J. Geophys Res. 82: 2981-2987.

Kasahara, K., 1979: Migration of crustal deformation.- Tectonophysics, 52: 329-341.

Liaw, W.; Matumoto, T., 1980: Hinge faulting and its correlation with surface geology in northern Costa Rica.- EOS, 61 (17): 289-290.

Madrigal, R., 1970: Geología del mapa básico Barranca, Costa Rica.- Inf. Tecn. Notas Geol. No. 37. Direcc. Geol., Minas y Petrol, 55 págs.

Mendiguren, J.A. 1980: A procedure to resolve seismic areas of different sources.- Bull. Seismol. Soc. Am. 70: 985-998.

Montero, W., 1986: Períodos de recurrencia y tipos de secuencias sísmicas de los temblores interplaca e intraplaca en la región de Costa Rica.- Rev. Geol. Amer. Central. 5: 35-72.

Montero, W., 1989: Sismicidad histórica de Costa Rica 1638-1910.- Rev. Geof. Int. 28: 531-559.

Montero, W.; Climent, A. (en prensa): Los terremotos de Grecia de 1882 y de Quepos de 1952, Costa Rica: Distribución de intensidades y origen tectónico.- Ciencia y Tecnología.

Montero, W.; Morales, L.D., 1985: Sismotectónica y niveles de actividad de microtemblores en el suroeste del Valle Central.- Rev. Geof. IPGH, 21: 21-41.

Montero, W.; Morales, L.D., 1990: Deformación y esfuerzos neotectónicos en Costa Rica.- Rev. Geol. Am. Central 11: 69-84.

Mora, S., 1985: Las laderas inestables de Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central. 3: 131-161.

Mora, S.; Morales, L.D., 1986: Los sismos como fuente generadora de deslizamientos en Costa Rica y su impacto sobre las líneas vitales e infraestructura. I Simposio Latinoamericano de Riesgo Sísmico, CFIA, 8 págs.

Mora, S.; Leandro, G.; León, C., 1990: Análisis geológico-geotécnico preliminar del deslizamiento de Puriscal, Costa Rica.- Comisión Nac. de Emergencias. 69 págs.

Morales, L.D., 1983: Riesgos geológicos asociados con terremotos en los alrededores del golfo de Nicoya.- Rev. Brenesia.

Morales, L.D., 1985: Las zonas sísmicas de Costa Rica y alrededores.- Rev. Geol. Amér. Central, 3: 69-101.

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

Nishenko, S.P., 1989: Circum-Pacific seismic potential 1989-1999. U.S. Geol. Survey, Open file report 89-86, 126 págs.

Rymer, H.; Brown, G., 1989: Gravity changes as a precursor to volcanic eruption at Poás volcano, Costa Rica.- Nature 342, 6252: 902-905.

Santana, G.; Vargas, W.; Matamoros, A.; Segura, C. (en prensa): Registros de movimientos sísmicos fuertes obtenidos en Puriscal durante mayo y junio 1990.- IINI, 9 págs.

Sauter, F.; Cartín, J. (en prensa): Preliminary report on the Cóbano, Costa Rica Earthquake of march 25, 1990.- 6 págs.

Wells, S.G.; Bullard, T.F.; Ritter, J.B.; Wesling, J.R., 1988: Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific Coast of Costa Rica.- Geomorphology 1: 239-265.

ANEXO 1

REPORTES DETALLADOS DE DAÑOS CAUSADOS

POR EL TERREMOTO DE COBANO

DAÑOS Y EFECTOS REPORTADAS POR LOCALIDAD E INTENSIDADES ASIGNADAS

(Temblor de Cobano, 25 marzo 1990)

LUGAR	DAÑOS O EFECTOS REPORTADOS	FUENTE	DIST. AL EPIC. (Km)	INTENSIDAD
PUNTARENAS	Sede UCR y edificio del colegio Universitario se declararon inhabitables hay cierto deterioro en las escuelas 20 de Noviembre, La Fray Casiano, el Liceo José Martí el Kinder Central.	La Nación 29/03/90 pag. 4A	42	VIII
	Colegio José Martí segundo piso quedó muy afectado, incluso se recomendó no utilizarlo.	La Nación 27/03/90 pag. 5A		
	Poder Judicial, estantes caídos y rajaduras en las oficinas.			
	El hospital Monseñor Sanabria debió ser desocupado por daños en los pisos superiores y por tal razón dieron la salida a muchos pacientes. Daños en el edificio del Palacio Municipal. Rajaduras y artículos quebrados en casas, iglesias y negocios comerciales son generales, así como grietas en calles. También, en el barrio el Carmen y Carrizal algunas casas resultaron dañadas en casi un 50 por ciento.			
	El hospital puntarenense Monseñor Víctor Manuel Sanabria, de diez pisos, sufrió daños en algunas paredes lo que obligó a realizar una evacuación temporal ayer por la mañana, luego del segundo sismo que sacudió una parte del territorio costarricense.	La Nación 26/03/90 pag. 7A		
	Las fisuras más graves se produjeron en el quinto piso, donde reporteros de La Nación observaron una de medio centímetro de ancho en una pared de diez centímetros de espesor, por la cual pasaba la luz externa. Los agrietamientos en las paredes afectaron casi todos los pisos, principalmente hacia el centro del inmueble, donde se desprendió parte del revestimiento de las paredes, lo cual provocó gran temor entre los enfermos. Estos fueron trasladados hacia uno de los jardines externos, a otros se les dejó en el primer piso.			
MATA DE LIMÓN	Además de las dificultades citadas, resultaron dañados el cielo raso y ventanales del Monseñor Sanabria, y dos de los ascensores se quedaron trabados.	La Nación 26/03/90 pag. 7A		
	No hubo víctimas a excepción de "Olga", una chancha que habitaba cerca del estero de Puntarenas, a la que le cayó encima el baño de una casa, debajo del cual estaba su residencia, momentos después los moradores comían chicharrones y adobaban su fresca carne.	La Nación 26/03/90 pag. 2A		
MATA DE LIMÓN	Los mayores daños se notaron en Puntarenas y Mata de Limón donde la sacudida derrumbó dos hoteles abandonados, deterioró a otro en servicio y destruyó tres humildes viviendas.	La Nación 26/03/90 pag. 4A	44	VIII

LUGAR	DAÑOS O EFECTOS REPORTADOS	FUENTE	DIST. AL EPIC. (Km)	MM
	Tres hoteles (Casa Blanca, Manglar y Viña del Mar) con graves daños estructurales y derrumbados, casi en su totalidad. Puente peatonal de hamaca en mal estado.	La Nación 26/03/90 pag. 5A		
	De suerte el Hotel Casa Blanca estaba desahitado pues no aguantó el fuerte sismo	La Nación 26/03/90 portada		
EL CACAO PUNTARENAS	En la Escuela Matías Duarte Solera hubo reventaduras profundas en las paredes.	La Nación 27/03/90 pag. 5A		
PAQUERA	Pérdidas de la ciudad ascienden a 15 millones, el perjuicio mayor se presenta en las viviendas de las cuales 28 muestran deterioro. De ellas siete se califican de inhabitables.	La Nación 27/03/90 pag. 4A	22.5	VII
	En Paquera doña Carmen Sánchez Sánchez de 71 años contó que estaba preparando el desayuno en su precaria vivienda cuando ocurrió el primer sismo del domingo "grité, me asusté mucho y me desmayé".	La Nación 27/03/90 pag. 6A		
	Su hija Carmen Navas Sánchez se quedó sin casa "está a punto de caerse. En esa zona, la habitación de doña María Cristina Luna Luna, de 76 años, también se falseó.			
	Los temblores se sintieron con mucha intensidad. Hubo problemas con el agua y la electricidad. Cayeron paredes de la escuela de la localidad. La iglesia de San Rafael de Paquera se agrietó. Vitrinas de negocios resultaron quebradas.	La Nación 26/03/90 pag. 5A		
	En la escuela de San Rafael de Paquera se desplomaron varios bloques ornamentales.	La Nación 27/03/90 pag. 6A		
COBANO	Bajo un árbol de mango junto a su destrozada vivienda de cemento, Don Gerardo Segura Ugalde y su esposa Eunice Segura Segura improvisaron su hogar. Ahí colocaron una refrigeradora, la cocina de leña y la cuna de Vanessa. La estructura quedó en pie, pero totalmente quebrada, con solo golpear alguna de las paredes del techo cruje y el piso fue levantado por el sismo principal. Al igual que la Gerardo, otras seis casas de esta pobre región, ubicada en la parte sur de la península de Nicoya quedaron inhabitables. Lo mismo ocurrió con las escuelas de los barrios Río Negro y Santa Clemencia, las cuales están bajo peligro de derrumbarse.	La Nación 27/03/90 pag. 6A	19	VIII

LUGAR	DAÑOS O EFECTOS REPORTADOS	FUENTE	DIST. AL EPIC. (Km)	MM/
	En la población de Cóbano, el centro cívico, que alberga al Consejo, Alcaldía, Consejo Nacional de Producción y Correos quedó falseado en sus dos pisos.			
	Luis Emilio Ramírez Araya, presidente del Consejo de Distrito de Cóbano, dijo que por el momento la situación es normal, pero que esperan que la autoridades actúen rápidamente para atender a quienes perdieron sus viviendas. Así mismo, afirmó que en ese lugar hay que reparar pronto varias escuelas y el centro cívico.	La Republica 28/02/90 pag. 4A		
	Daños en la escuela de Río Negro. Resquebrajamiento de paredes en la iglesia y en la escuela. Daños en varios negocios, especialmente en el expendio del Consejo Nacional de Producción, donde gran parte de la mercadería quedó en el piso.	La Nación 26/03/90 pag. 5A		
PTA LEONA Y HERRADURA	Hubo deslizamientos.	Comunicación S. Mora.		
JACO	Derrumbe en la carretera en el kilómetro 37 impedía el paso a esa comunidad.	La Nación 26/03/90 pag. 5A	34	VIII
ISLA DE CHIRA	No se reportaron daños. El sismo se sintió con fuerza.			
SAN JOSE	El Doctor Manuel Obando, coordinador de la comisión, dijo que hasta ayer solo se habían evaluado unos 30 inmuebles en los cuales no se habían hallado fallas estructurales por lo que se autorizó su uso.	La Nación 27/03/90 pag. 5A	100	VI
	Cuando se presentaron a sus puestos en el Ministerio de Agricultura y Ganadería, en la Sanana, los empleados desalojaron las oficinas inmediatamente, al observar rajaduras en todos los niveles, polvo y trozos de cemento en los pisos y escritorios de las oficinas y caída de repellos de varias paredes. Poco a poco retornaron, después que la directora general administrativa, Licda. Maureen Clarke Clarke, les informó que el domingo se había concluido la inspección técnica y que edificio estaba libre de fallas estructurales.	La Republica 27/03/90 pag. 10A		
	El Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, ubicado en el centro de San José, también el personal entro en tensión, al notar rajaduras en las paredes y varios mosaicos del piso arrancados por los temblores. La biblioteca sufrió la caída de numerosos estantes.			

LUGAR	DAÑOS O EFECTOS REPORTADOS	FUENTE	DIST. AL EPIC. (Km)	I (MM)
	Los edificios de Salud, incluido uno recién estrenado, sufrieron fisuras, agrietamientos y otros daños. Los ingenieros investigan si hay daños en las vigas, puesto que un pasillo a las oficinas del Ministro y del Viceministro sufrió agrietamientos.	La Republica 27/03/90 pag. 10A		
	El gerente general de la CNFL, Ing. Pablo Cob, dijo que las interrupciones del servicio eléctrico en el área metropolitana los solventaron rápidamente. Las averías fueron provocadas por cortocircuitos, cables reventados y la falla de los transformadores.	La Nación 27/03/90 pag. 4A		
	En la mayoría de los hospitales y clínicas del país, dijo, hubo daños menores; en las oficinas centrales se desprendieron los enchapes de mármol del vestíbulo, así como del segundo piso.	La Nación 26/03/90 pag. 7A		
	Algunas paredes del Calderón Guardia, en San José, sufrieron fisuras, especialmente en las salas de operaciones, mientras que en el México se quebraron vidrieras. En el San Juan de Dios se informó que había grietas en las paredes y la caída de parte del repello en la Sección de medicina.			
	Una de las pacientes trasladadas era María Lourdes Mena Calderón, de 19 años, quien tenía junto a su cama a su recién nacido Dayvi Gerardo "nos acababan de bañar cuando se vino el socollón unos cilindros de oxígeno cayeron al suelo, y todos corrieron, afirmó la joven madre.	La Nación 26/03/90 pag. 7A		
	El espectáculo en calles y barriadas de San José y cantones vecinos, era de verdadero pánico, los más nerviosos abandonaron sus casas en pijamas o en paños menores y se lanzaron a las vías, quienes lograron mantener cordura, tal como lo recomienda la Comisión Nacional de Emergencias, se ubicaron bajo los marcos de las puertas.	La Nación 26/03/90 pag. 2A		
	Pasado el angustioso momento, la primera reacción fue ir hacia el teléfono para comunicarse con los familiares, lo cual provocó un congestionamiento. Esto, sumado a algunas averías causadas por los temblores, dio al traste con el servicio, que fue deficiente durante todo el día.			
	La reventadura de líneas primarias y los cortocircuitos en transformadores de mediana tensión, causaron un corte en el servicio eléctrico que dejó a muchos sin desayunar. En los hospitales hubo alarma general, solo los enfermos graves permanecieron en sus lechos; los demás se lanzaron a los pasillos mientras el personal de enfermería procuraba mantener cordura.			
	Los hoteles capitalinos quedaron momentáneamente desiertos, sus huéspedes, especialmente los turistas procedentes de países donde nunca tiembla, se lanzaron a la calle como si allí estuvieran más seguros.			

LUGAR	DAÑOS O EFECTOS REPORTADOS	FUENTE	DIST. AL EPIC. (Km)	I (MM)
	El gerente de telecomunicaciones del ICE, Ing. Antonio Cañas, afirmó que las vibraciones sísmicas afectaron básicamente el equipo del sistema de enlace por microondas durante unas cinco horas	La Nación 27/03/90 pag. 4A		
	El paso de peatones en la avenida central, entre las calles central y primera, estuvo cerrado desde las 10 a.m. hasta la 1:30 p.m. debido a que se estaban desprendiendo vidrios quebrados en el edificio Lux.	"		
	Un violento temblor estremeció ayer el país y provocó pánico entre la población y daños en edificios y residencias en San José, Mata de Limón y Puntarenas. Los temblores fueron percibidos en todo el territorio nacional, eso llevó a muchas personas a lanzarse angustiosamente a las calles por temor de que se produjera un fenómeno de mayor fuerza, no faltó quienes abandonaran sus residencias en pijamas o ropas ligeras.	La Nación 26/03/90 pag. 4A		
	Costa Rica se tambaleó durante unos cuantos segundos. En supermercados y comercios la mercadería se vino abajo y algunas estanterías y ventanales se partieron en varias partes.	La Nación 26/03/90 pag. 2A		
TIBAS	La Escuela Esmeralda Oreamuno, Cinco Esquinas, fue la que recibió más daño, allí se rompió la tubería, una pared estaba a punto de caer y una aula quedó destruida.	La República 102 27/03/90 pag. 11A		VI
TRINIDAD DE MORAVIA	La Cruz Roja recibió varias llamadas para atender a pacientes con paros cardíacos, ataques de histeria y golpes, como la señora María Isabel Vargas, de la Trinidad de Moravia, a quien le cayó un televisor en la cadera y se la fracturó.	La República 26/03/90 pag. 2A		
SANTA ANA	El comerciante Edwin Vargas Peraza de 58 años sufrió un infarto, por lo que fue trasladado al San Juan de Dios, donde se recupera.	"		
LIBERIA	Se sintió muy fuerte, principalmente el segundo temblor de la mañana. No hubo perjuicios graves.	La Nación 26/03/90 pag. 5A	126	V
NICOYA	Sin daños materiales. El primero no se sintió; el segundo fue bastante fuerte.	"	81	VI
TILARÁN	El sismo no fue sentido con mucha intensidad. No se informó de daños.	"	95	V

LUGAR	DAÑOS O EFECTOS REPORTADOS	FUENTE	DIST. AL EPIC. (Km)	I (MM)
ABANGARES	Escuela Lourdes la consideran inhabitable. La Escuela de Lourdes de Abangares quedó completamente destruida al desplomarse. La escuela se encontraba ubicada en un relleno, razón por la cual su destrucción fue total.	La Nación 27/03/90 pag. 5A La Republica 27/03/90 Pag. 11A	74	VI
NANDAYURE	Escuela San Francisco de Coyote, sufrió daños que obligaron al personal docente a impartir clases en el salón comunal. Otra escuela afectada es la de San Francisco de Coyote, en Nandayure, que sufrió daños en sus paredes, cuando los bloques ornamentales no resistieron el sismo.	La Nación 27/03/90 pag. 5A La Republica 27/03/90 pag. 11A		
PURISCAL	En la Escuela Carit se desplomó una pared y afectó una aula. Asimismo en la Escuela Carit de Puriscal, un muro cayó sobre una aula en desuso, pero esto no impidió que se suspendieran las lecciones.	La Nación 27/03/90 pag. 5A La Republica 27/03/90 pag. 11A	74	VI
ESPARZA	En el Poder Judicial, estantes caídos y rajaduras.	La Nación 27/03/90 pag. 5A	52	VI
BUENOS AIRES	Poder Judicial, estantes caídos y rajaduras.			
MIRAMAR	Poder Judicial, estantes caídos y rajaduras en las oficinas.		59	VI
SANTA BARBARA SANTA CRUZ	Escuela María Marín, hundimiento del techo.			
SANTA CRUZ	Escuela Josefina López, reventaduras en paredes de oficinas administrativas. En el Colegio Técnico Profesional, las canoas cedieron y las láminas de zinc se cayeron	La Nación 27/03/90 pag. 5A	100	V
SAN RAMON DE JICARAL	En la escuela se desplomaron varios bloques ornamentales.	La República 27/03/90	44	VI

LUGAR	DAÑOS O EFECTOS REPORTADOS	FUENTE	DIST. AL EPIC. (Km)	IMP.
SAN CARLOS	En San Carlos solicitaron la presencia de un ingeniero de la Comisión de Emergencias para que inspeccionara la Escuela de Enseñanza Especial, que sufrió daños mínimos. Daños materiales. La situación no produjo mucho temor.	" La Nación 26/03/90 pag. 5A	97	VI
ALAJUELA CENTRO	Las torres de la Catedral se agrietaron. La pared sur de la iglesia de la Agonía se dañó. Igualmente algunas paredes de la Comandancia de la Guardia Civil. Destrozos en establecimientos comerciales.	"	92	VI
UPALA	En Aguas Claras los edificios de la Guardia Rural y del Ministerio de Agricultura y Ganadería con pequeñas grietas en las paredes.	"		
ATENAS	La iglesia sufrió reventaduras en cuatro pilares; pared este con grietas hasta de 25 centímetros; reloj destrozado. En la carretera a Balsa hubo derrumbes. El tendido eléctrico al barrio San José afectado. Daños en locales comerciales.	"	74	VI
GRECIA	Fluido eléctrico y servicio de teléfonos suspendidos hasta las 10 a.m. Iglesia de Puente Piedra se agrietó.	"	86	VI
TURRIALBA	Reporte de daños materiales en establecimientos comerciales. El servicio eléctrico y telefónico permaneció suspendido durante la mañana.	"	142	V
PARAISO	La iglesia sufrió la quebradura de sus ventanales y agrietamientos en varias de sus columnas.	"	121	V
JUAN VIÑAS	No hubo daños. Interrupción del fluido eléctrico y telefónico.	"	134	IV
HEREDIA CENTRO	En el Palacio del Deporte las paredes se resquebrajaron.	"	100	VI
SANTA BARBARA HEREDIA	En el edificio de la Guardia Rural y en la iglesia hubo reventaduras en las paredes.	"	98	V
SAN ISIDRO DE PEREZ ZELEDON	Daños en la iglesia.	"	138	IV

LUGAR	DAMOS O EFECTOS REPORTADOS	FUENTE	DIST. AL EPIC.(Km)	IMM)
LIMON	En el Tony Facio, de Limón, ocurrieron varios resquebrajamientos. Sismo se sintió en toda la provincia y causo temor en la población pero no se reportaron daños.	La Nación 26/03/90 pag. 7A	213	V
PASO CANOAS	Se sintió en forma fuerte. El sector fronterizo quedó sin servicio de teléfonos toda la mañana.	La Nación 26/03/90 pag. 5A	260	IV

COMENTARIOS GENERALES: SERVICIOS AFECTADOS
FUENTE: PERIODICO LA NACION, 26-03-90 Pág. 7-A

Apagones en algunas localidades. Interrupción de las telecomunicaciones durante varias horas y pequeños deslizamientos de tierra en la vía a Guápiles, fueron las principales consecuencias de los temblores de ayer en servicios y vías de comunicación.

El Sistema Eléctrico Nacional Interconectado soportó bien el fenómeno, afirmó el técnico don Ismael Arroyo Guevara, jefe de turno del Centro de Control de Energía del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE): Aisladores rotos y líneas caídas constituyeron los principales factores que afectaron la distribución de energía en 25 comunidades. Arroyo aseveró que las plantas hidroeléctricas, así como las subestaciones en todo el país, siguieron operando normalmente. Admitió que los sismos afectaron parcialmente varias líneas distribuidoras. Una de ellas fue Colina-Dulce, que abastece al sector norte de San José (Tibás y Moravia), lo cual explica la carencia de fluido que hubo en esa zona en la mañana.

Don Francisco Montes de Oca, del Servicio Eléctrico de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), preciso que los remezones dejaron sin fluido a 25 comunidades, algunas de las cuales seguían sin energía ayer por la tarde. Los lugares afectados fueron Tibás, Aranjuez, Moravia, Curridabat, Tres Ríos, La Uruca, Urbanización Cariari, San Joaquín de Flores, La Guácima, Paso Ancho, Calle Blancos, Guaría Oriental, Ipís, Alto de Guadalupe, Guadalupe, Rancho Redondo, Coronado, Río Oro, San Antonio de Escazú, Santo Domingo, Ciudad Colón, Hatillos 6 y 7, Paso Ancho y Rohrmoser.

Tampoco hubo destrucción en el sistema vial; únicamente en la carretera a Guápiles se presentaron dos derrumbes que, en ningún momento, interrumpieron el tránsito. Ana Madrigal, Jefa de Prensa del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, manifestó que los deslizamientos tuvieron lugar cerca del Túnel Zurquí y del puente sobre el Río Sucio. Agregó que funcionarios del Plantel del Atlántico quedaron en estado de alerta para atender cualquier emergencia que se presente en la vía.

El servicio telefónico, si bien se saturó debido al exceso de llamadas, no registró mayores problemas. La congestión que sobrecargó el sistema y la falta de electricidad que dejó inoperante varias centrales fue la causa principal por la que, tras los sismos y hasta la 1:30 p.m., no fue posible la comunicación con la Zona Sur de Costa Rica, expresó el Lic. William Solano, Jefe de Relaciones Públicas del ICE.

RESUMEN DE DAÑOS EN EDIFICIOS
FUENTE: LA REPUBLICA 27-03/90, Pág. 10-A

EDIFICIO	DAÑOS
- Biblioteca Nacional	Vidrios rotos y grietas en las paredes.
- Tienda la Gloria	Ventanales rotos.
- Hospital San Juan de Dios	Fisuras en paredes en maternidad y en Medicina 1 y 2.
- Hospital México	Vidrios rotos.
- Primera Comisaria	Ruptura de ventanales y derrumbe de pared interna
- Hotel Balmoral	Daños en los ductos de la caldera y en las vidrieras.
- Laboratorios Ancla	Derrumbe de una pared interna.
- Museo Nacional	Fisuras en la Sala de Arqueología.
- Edificio La Yacuna	Fisuras en paredes internas.
- Edificio Banca Corporativa	Grietas en la cúpula.
- Teatro Nacional	Grietas y daños en los murales.
- Ministerio de Trabajo	Fisuras en paredes internas.
- Hotel Howard Johnson	Vidrios rotos.
- Iglesia La Dolorosa	Caída de repellos y daños en estatuas.
- Iglesia de Moravia	Grietas en paredes internas y caída de una cornisa.
- Bingo de la Cruz Roja	Ventanales rotos.
- Ministerio de Educación	Vidrios rotos.
- DINADECO	Vidrios rotos.
- Ministerio de Gobernación	Grietas en paredes internas.
- Escuela República del Perú.	Desprendimiento de cielo raso vidrios rotos y grietas en paredes.
- Ministerio de Salud	Fisuras en las paredes.
- Ministerio de Agricultura	Daños en las paredes.
- Estadio Sapriisa	Daños en gradería.
- Iglesia de Atenas	Pared con grietas y caída de reloj.
- Iglesia de Puriscal	Grietas en las paredes.
- Colegio de Puriscal	Pared con grietas.
- Iglesia San Isidro-Heredia	Pared con grietas.

EDIFICIO	DAÑOS
- Edificio LEFERPART-Alajuela	Pared con grietas.
- Comandancia de Alajuela	Una pared interna se cayó
- Palacio de Deportes-Heredia	Pared con grietas.
- Hotel Viña del Mar Mata Limón.	Caída de una pared.
- Hotel Casa Blanca-Mata Limón	Destrucción total.
- Hotel Manglar-Mata Limón	Desplome del restaurante.
- 16 viviendas en Barrio el Carmen-Puntarenas	Dañadas parcialmente.
- Hospital Moseñor Sanabria,	Grietas profundas paredes del tercero y quinto pisos, vidrios rotos y fisuras.
- Muelle Frigorífico de Puntarenas	Colapso completo.
- Escuela de Río Negro en Cóbano-Puntarenas	Daño estructural.
- Edificio Cívico de Cóbano, donde están el Consejo Nacional de Producción, el Correo y el Palacio Municipal.	Daño estructural y grietas en paredes.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería en Cóbano.	Grietas en paredes.
- Tanques de aguas en Carrizal	Colapso total.
- Seis viviendas en Cóbano	Dañadas parcialmente.
- Dos casas en Cóbano	Colapsadas.

VIAS DE COMUNICACION DAÑADAS

- Vía Guápiles	Derrumbes en varias partes.
- Carretera Costanera	Derrumbes en varias partes.
- Puente Doña Ana-Caldera	Daños generales.
- Carretera a Mata Limón	Agrietamiento en acueductos en Mata Limón. Daños a la altura del km 44 sobre la línea férrea. Dañado estructuralmente.
- Puente peatonal de Mata Limón	Daños menores.
- Servicio de aguas y luz en Paquera	
- Carreteras en la Península de Nicoya (entre el Ferry y Cóbano)	Abundantes caídas de bloque de las paredes en los cortes de los caminos.
- Entre Esparza y Río Lagarto	Piedras caídas sueltas sin obstruir la vía

OBSERVACIONES DE CAMPO

DEL PERSONAL DE LA RSN: ICE-UCR

- | | |
|---------------------------------|---|
| - Edificio Pop's y McDonald's. | Vidrios quebrados |
| - Club Unión | Caída del enchape de mármol |
| - Librería Universal | Vidrios quebrados |
| - Edificio Miguel Macaya | Caída de repellos |
| - Hotel Doral | Vidrios quebrados, pared con grietas y caída de repellos |
| - Edificio Librería Acrópolis | Vidrios quebrados |
| - Edificio en calle 8, ave. 4. | Vidrios quebrados |
| - Muelle de Puntarenas | Caída de poste y transformadores, losetas del piso desplazadas. |
| - Barrio El Carmen, Puntarenas. | Grietas en las calles. |

ANEXO 2

LISTADO DE SISMOS DE 1990

MAGNITUD $\geq 4,0$

*** ESCUELA DE GEOLOGIA, U.C.R. ***
 BASE DE DATOS: RSN1990 PAG: 1

N°	DD	MM	AAAA	HH	MM	SS	LATITUD	LONGITUD	PROF	MAG	STA	DM	GAP	RMS	ERH	ERZ	XCRL	YCRL	FUENTE DEL SISMO								
1	11	ENE	1990	00h	31m	09s	10°30' 41"	85°20' 49"	33	98	4	0	0	0	341	0	31	6	8	2	5	389	6	276	4	UCR	
2	21	ENE	1990	03h	52m	35s	8°27' 51"	82°58' 34"	0	02	4	6	0	0	312	0	47	0	0	0	0	577	0	268	2	UCR	
3	13	FEB	1990	07h	46m	58s	10°21' 59"	83°10' 60"	41	80	4	1	0	0	253	0	13	2	2	5	6	626	7	260	2	RSN	
4	15	FEB	1990	03h	31m	18s	8°21' 18"	83°17' 62"	16	40	4	0	0	0	326	0	22	11	8	5	3	541	0	256	5	RSN	
5	16	FEB	1990	07h	49m	28s	8°33' 38"	83°18' 41"	7	50	5	0	0	0	296	0	34	5	4	4	9	539	9	278	9	RSN	
6	17	FEB	1990	06h	56m	41s	9°22' 02"	84°12' 29"	21	00	4	7	0	0	243	0	27	6	3	2	4	440	5	368	6	RSN	
7	19	FEB	1990	12h	29m	29s	10°11' 88"	85°32' 96"	14	40	4	1	0	0	250	0	13	4	2	2	2	366	8	242	4	RSN	
8	25	MAR	1990	13h	22m	55s	9°35' 17"	84°56' 29"	24	20	6	5	10	0	190	0	42	4	0	7	6	359	4	393	1	RSN	
9	25	MAR	1990	13h	36m	21s	9°40' 10"	84°53' 23"	30	00	4	1	10	0	222	0	84	15	0	19	1	365	1	402	1	RSN	
10	25	MAR	1990	13h	27m	56s	9°29' 66"	84°51' 22"	5	65	4	0	13	79	0	223	0	20	1	6	1	5	368	7	382	9	RSN
11	25	MAR	1990	21h	35m	19s	9°18' 64"	84°50' 69"	25	27	4	9	12	65	0	205	0	26	3	6	5	0	369	6	362	6	RSN
12	25	MAR	1990	23h	49m	41s	9°35' 97"	84°56' 64"	29	25	4	0	8	40	0	270	0	18	2	9	5	6	358	8	394	5	RSN
13	25	MAR	1990	13h	16m	05s	9°32' 53"	84°56' 66"	22	96	5	3	4	0	194	0	46	4	7	7	9	358	7	388	2	RSN	
14	26	MAR	1990	10h	43m	17s	9°46' 74"	84°55' 53"	23	38	4	2	13	22	0	168	0	29	1	8	2	0	360	9	414	4	RSN
15	26	MAR	1990	18h	39m	57s	9°40' 39"	84°59' 28"	35	51	4	2	7	98	0	199	0	24	2	8	3	2	353	9	402	7	RSN
16	27	MAR	1990	12h	06m	37s	9°17' 81"	85°23' 80"	39	68	4	0	10	93	0	263	0	36	13	6	18	4	308	5	361	3	RSN
17	27	MAR	1990	14h	24m	05s	8°56' 83"	84°54' 82"	6	33	4	0	8	87	0	261	0	23	5	0	7	1	361	9	322	4	RSN
18	27	MAR	1990	14h	52m	17s	9°20' 78"	84°49' 58"	16	00	4	6	0	0	202	0	38	4	2	6	5	371	7	366	5	RSN	
19	28	MAR	1990	17h	24m	43s	9°21' 12"	84°42' 79"	23	64	4	2	7	89	0	196	0	18	3	0	4	3	384	2	367	1	RSN
20	29	MAR	1990	16h	42m	28s	9°20' 41"	85°14' 12"	36	52	4	2	10	75	0	252	0	56	6	3	3	1	326	4	366	0	RSN
21	31	MAR	1990	11h	21m	50s	10°06' 30"	85°06' 00"	57	00	4	1	8	18	0	210	0	50	11	1	13	9	416	0	231	9	RSN
22	03	ABR	1990	11h	52m	12s	10°07' 62"	85°41' 71"	30	00	4	3	0	0	324	0	26	11	7	2	0	350	8	234	6	RSN	
23	03	ABR	1990	20h	14m	10s	10°12' 16"	85°22' 89"	25	80	4	3	0	0	216	0	03	0	0	7	5	385	2	242	8	RSN	
24	03	ABR	1990	22h	57m	03s	10°38' 46"	86°18' 53"	13	30	5	9	0	0	332	0	29	11	5	6	7	283	9	291	8	RSN	
25	04	ABR	1990	17h	05m	12s	9°53' 55"	85°35' 20"	3	30	4	2	0	0	274	0	12	5	7	4	8	287	9	427	3	RSN	
26	04	ABR	1990	17h	26m	34s	10°01' 72"	85°52' 99"	21	00	4	2	0	0	324	0	06	8	4	7	5	330	1	223	8	RSN	
27	06	ABR	1990	10h	08m	23s	9°23' 12"	84°42' 41"	23	50	4	1	0	0	196	0	41	3	0	5	9	384	9	370	8	RSN	
28	15	ABR	1990	15h	32m	59s	8°59' 00"	84°03' 66"	27	10	4	1	0	0	220	0	32	5	2	5	5	456	0	326	2	RSN	
29	15	ABR	1990	06h	58m	54s	8°55' 99"	84°01' 54"	32	80	4	1	0	0	199	0	23	7	5	7	7	460	2	320	6	RSN	
30	16	ABR	1990	21h	08m	24s	9°42' 35"	85°09' 55"	73	60	4	4	0	0	199	0	41	7	5	14	8	335	0	406	4	RSN	
31	16	ABR	1990	19h	16m	41s	9°40' 09"	85°07' 59"	47	70	4	0	0	0	218	0	20	21	0	13	9	338	6	402	2	RSN	
32	27	ABR	1990	01h	23m	09s	8°39' 63"	83°38' 76"	23	70	5	4	0	0	217	0	37	6	7	6	6	502	3	290	4	RSN	
33	28	ABR	1990	01h	23m	09s	8°40' 60"	83°37' 50"	27	90	5	2	0	0	217	0	16	3	6	1	8	504	6	292	2	RSN	
34	28	ABR	1990	01h	30m	03s	8°39' 29"	83°33' 85"	24	20	4	1	0	0	248	0	36	6	6	13	9	511	4	289	8	RSN	
35	28	ABR	1990	03h	44m	33s	9°37' 15"	84°52' 50"	7	80	4	0	0	0	188	0	37	9	1	9	5	366	4	396	7	RSN	
36	01	MAY	1990	02h	57m	52s	9°49' 71"	84°20' 89"	4	30	4	0	0	0	168	0	40	6	1	9	3	424	7	419	7	RSN	
37	01	MAY	1990	03h	28m	18s	9°55' 13"	84°16' 76"	22	50	4	5	0	0	166	0	34	10	3	6	3	432	3	429	7	RSN	
38	08	MAY	1990	00h	01m	41s	6°55' 26"	82°42' 54"	32	70	5	7	0	0	264	0	32	24	1	0	0	467	1	446	5	RSN	
39	10	MAY	1990	21h	15m	36s	9°19' 74"	84°50' 31"	18	60	4	8	0	0	206	0	13	0	3	2	9	370	3	364	6	RSN	
40	11	MAY	1990	05h	32m	14s	9°29' 23"	84°45' 49"	40	60	4	0	0	0	220	0	41	6	8	5	0	379	3	382	0	RSN	
41	14	MAY	1990	06h	56m	03s	9°29' 35"	84°50' 31"	30	00	4	1	0	0	223	0	56	4	8	5	6	370	4	382	3	RSN	
42	14	MAY	1990	10h	25m	32s	10°10' 44"	84°03' 24"	4	40	4	2	0	0	148	0	30	1	9	3	5	530	6	239	5	RSN	
43	16	MAY	1990	13h	32m	33s	10°38' 43"	85°54' 54"	51	20	5	1	0	0	313	0	10	4	6	6	5	327	6	291	5	RSN	
44	16	MAY	1990	17h	50m	57s	9°53' 02"	84°15' 49"	6	00	4	0	0	0	167	0	25	0	0	0	0	434	6	425	8	RSN	
45	27	MAY	1990	03h	04m	12s	8°50' 83"	83°46' 63"	10	70	4	7	0	0	330	0	10	0	0	0	0	487	8	311	1	RSN	
46	29	MAY	1990	19h	56m	52s	9°51' 54"	84°15' 65"	15	00	4	7	0	0	155	0	30	7	9	9	0	434	0	423	0	RSN	
47	30	MAY	1990	22h	05m	21s	9°51' 19"	84°16' 45"	13	90	4	7	0	0	162	0	13	1	9	2	4	432	9	422	4	RSN	
48	31	MAY	1990	08h	59m	23s	9°53' 02"	84°18' 47"	3	90	4	0	0	0	252	0	44	9	5	4	3	429	2	425	8	RSN	
49	01	JUN	1990	02h	57m	50s	9°53' 68"	84°23' 78"	4	40	4	0	0	0	218	0	39	5	3	2	4	419	4	427	0	RSN	
50	01	JUN	1990	03h	28m	17s	9°52' 57"	84°18' 47"	4	80	4	5	0	0	95	0	24	2	9	1	3	429	2	425	0	RSN	

*** ESCUELA DE GEOLOGIA, U.C.R. ***
BASE DE DATOS: RSN1990 PAG: 2

N°	DD	MM	AAAA	HH:MM:SS	LATITUD	LONGITUD	PROF	MAG	STA	DM	GAP	RMS	ERH	ERZ	XCRL	YCRL	FUENTE DEL SISMO
51	02	JUN	1990	12h39m04s	8°20'38"	83°27'87"	16 10 4 0	0	0	0	0 0 315	0 30	10 4	0 0	522 4-	255 0-	RSN
52	07	JUN	1990	17h12m06s	9°52'69"	84°18'26"	7 00 4 6	0	0	0	0 0 114	0 34	2 2	1 4	429 5-	425 2-	RSN
53	08	JUN	1990	00h31m48s	9°51'05"	84°20'89"	8 30 4 8	0	0	0	0 0 229	0 38	5 4	4 1	424 7-	422 2-	RSN
54	08	JUN	1990	13h46m28s	9°54'32"	84°18'96"	5 30 4 0	0	0	0	0 0 104	0 36	1 8	1 1	428 3-	428 2-	RSN
55	08	JUN	1990	13h46m56s	9°53'91"	84°16'53"	7 00 4 5	0	0	0	0 0 104	0 25	3 6	1 8	432 7-	427 4-	RSN
56	08	JUN	1990	15h47m45s	9°52'26"	84°18'19"	9 60 4 0	0	0	0	0 0 114	0 39	2 5	4 4	429 7-	424 4-	RSN
57	08	JUN	1990	19h42m15s	9°53'08"	84°19'74"	8 90 4 2	0	0	0	0 0 159	0 48	1 9	1 9	426 8-	425 9-	RSN
58	09	JUN	1990	00h34m46s	9°53'91"	84°18'57"	9 50 4 8	0	0	0	0 0 140	0 39	2 0	3 9	429 0-	427 4-	RSN
59	09	JUN	1990	14h40m57s	9°52'68"	84°19'48"	10 10 4 0	0	0	0	0 0 116	0 53	1 8	1 4	427 3-	425 2-	RSN
60	13	JUN	1990	04h02m23s	9°24'02"	84°07'66"	15 00 4 1	0	0	0	0 0 239	0 23	7 7	5 1	449 0-	372 3-	RSN
61	13	JUN	1990	05h02m35s	9°50'74"	84°20'34"	0 20 4 2	0	0	0	0 0 125	0 17	0 5	0 5	425 7-	421 6-	RSN
62	16	JUN	1990	02h22m48s	9°52'27"	84°19'25"	7 00 4 5	0	0	0	0 0 91	0 45	1 5	0 9	427 7-	424 4-	RSN
63	22	JUN	1990	21h16m59s	10°45'23"	86°01'39"	19 90 5 0	0	0	0	0 0 317	0 48	0 0	0 0	315 2	304 1	RSN
64	23	JUN	1990	06h58m49s	9°35'34"	84°40'77"	27 40 4 3	0	0	0	0 0 178	0 22	2 8	3 0	388 0-	393 3-	RSN
65	30	JUN	1990	12h41m15s	9°49'60"	84°31'77"	2 00 4 0	0	0	0	0 0 327	0 02	0 0	0 0	404 6-	419 5-	RSN
66	30	JUN	1990	13h03m28s	9°52'30"	84°21'68"	7 40 4 0	0	0	0	0 0 108	0 28	1 5	1 5	423 2-	424 5-	RSN
67	30	JUN	1990	14h51m07s	9°49'50"	84°22'86"	4 80 5 0	0	0	0	0 0 232	0 36	3 3	1 6	421 1-	419 3-	RSN
68	30	JUN	1990	14h55m21s	9°54'05"	84°21'16"	5 00 4 5	0	0	0	0 0 212	0 13	0 0	0 0	424 2-	427 7-	RSN
69	30	JUN	1990	14h57m46s	9°50'07"	84°25'04"	6 20 4 4	0	0	0	0 0 2	0 39	9 2	3 9	417 0-	420 4-	RSN
70	30	JUN	1990	14h59m07s	9°55'50"	84°17'85"	19 50 4 4	0	0	0	0 0 192	0 13	6 5	10 0	430 3-	430 4-	RSN
71	30	JUN	1990	15h01m07s	9°51'66"	84°25'10"	13 10 4 3	0	0	0	0 0 237	0 03	0 1	0 2	416 9-	423 3-	RSN
72	30	JUN	1990	17h49m41s	9°53'16"	84°21'75"	7 40 4 0	0	0	0	0 0 218	0 43	5 7	0 0	423 1-	426 0-	RSN
73	30	JUN	1990	18h41m17s	9°52'76"	84°22'13"	13 80 4 0	0	0	0	0 0 221	0 38	5 1	4 7	422 4-	425 3-	RSN
74	16	JUL	1990	19h16m40s	9°40'09"	84°07'59"	47 70 4 0	0	0	0	0 0 218	0 20	21 0	13 9	449 2-	401 9-	RSN
75	17	JUL	1990	02h09m35s	9°19'17"	84°57'07"	36 30 4 1	0	0	0	0 0 333	0 09	4 8	1 7	357 9-	363 6-	RSN
76	22	JUL	1990	23h38m13s	9°45'76"	84°40'14"	39 30 4 0	0	0	0	0 0 167	0 32	9 4	4 5	389 2-	412 5-	RSN
77	23	JUL	1990	05h27m04s	9°20'24"	84°47'61"	25 00 5 1	0	0	0	0 0 201	0 34	4 0	6 1	375 3-	365 5-	RSN
78	23	JUL	1990	05h31m39s	9°25'96"	84°49'58"	24 70 4 2	0	0	0	0 0 326	0 18	5 0	9 0	371 7-	376 0-	RSN
79	23	JUL	1990	09h31m58s	9°11'45"	84°40'97"	36 60 4 1	0	0	0	0 0 250	0 32	4 9	3 7	387 5-	349 2-	RSN
80	02	AGO	1990	04h35m39s	9°26'04"	84°35'90"	59 40 4 0	0	0	0	0 0 213	0 53	4 1	4 8	396 9-	376 1-	RSN
81	15	AGO	1990	22h27m59s	9°14'16"	82°28'78"	30 00 4 1	0	0	0	0 0 316	0 12	3 8	2 3	631 4-	354 3-	RSN
82	21	AGO	1990	19h15m22s	10°04'56"	83°56'91"	10 70 4 4	0	0	0	0 0 191	0 38	1 7	3 1	542 2	228 6	RSN
83	25	AGO	1990	09h56m25s	10°08'02"	85°50'33"	24 60 4 4	0	0	0	0 0 339	0 30	5 0	1 8	335 0	235 4	RSN
84	26	AGO	1990	09h54m56s	10°22'58"	84°34'08"	109 30 4 0	0	0	0	0 0 165	0 37	4 6	2 4	474 3	261 8	RSN
85	30	AGO	1990	18h33m01s	6°23'36"	82°35'58"	19 60 5 0	0	0	0	0 0 282	0 88	3 9	4 6	407 7-	389 6-	RSN
86	30	AGO	1990	22h20m47s	9°29'06"	84°41'01"	30 00 4 7	0	0	0	0 0 295	0 05	1 9	0 8	387 5-	381 7-	RSN
87	17	SET	1990	08h49m37s	8°58'33"	84°03'23"	33 00 4 2	0	0	0	0 0 228	0 26	2 9	2 4	457 1-	324 9-	RSN
88	17	SET	1990	08h52m52s	8°55'54"	84°05'30"	27 50 4 6	0	0	0	0 0 233	0 42	4 5	4 8	453 3-	319 8-	RSN
89	17	SET	1990	13h51m09s	8°56'67"	84°04'04"	23 00 4 3	0	0	0	0 0 231	0 40	3 8	1 5	455 6-	321 9-	RSN
90	17	SET	1990	08h46m52s	9°01'63"	83°57'10"	33 00 4 9	0	0	0	0 0 216	0 59	6 1	4 9	468 4-	331 0-	RSN
91	18	SET	1990	06h43m34s	9°15'22"	84°00'52"	12 70 4 0	0	0	0	0 0 305	0 15	3 7	2 7	462 1-	356 1-	RSN
92	18	SET	1990	06h45m15s	8°58'86"	83°58'03"	2 00 4 0	0	0	0	0 0 224	0 19	3 7	2 7	466 7-	325 9-	RSN
93	18	SET	1990	06h11m23s	8°58'34"	83°59'27"	3 70 4 5	0	0	0	0 0 227	0 03	0 8	4 5	464 4-	324 9-	RSN
94	20	SET	1990	03h20m20s	8°57'54"	83°51'22"	7 40 4 6	0	0	0	0 0 212	0 13	4 5	4 8	479 3-	323 5-	RSN
95	09	OCT	1990	21h11m40s	8°55'60"	84°13'30"	32 30 4 6	0	0	0	0 0 206	0 33	2 0	2 6	438 5-	319 9-	RSN
96	16	OCT	1990	07h33m56s	9°36'96"	83°36'84"	4 60 4 4	0	0	0	0 0 179	0 37	4 1	4 9	505 8-	396 1-	RSN
97	23	OCT	1990	20h05m09s	8°58'59"	84°12'40"	36 30 4 0	0	0	0	0 0 258	0 20	3 2	1 4	440 2-	325 4-	RSN
98	08	NOV	1990	13h13m09s	10°42'21"	85°37'97"	101 60 5 2	0	0	0	0 0 295	0 34	9 2	9 4	357 8	298 3	RSN
99	08	NOV	1990	04h04m46s	9°53'55"	83°26'67"	13 90 4 1	0	0	0	0 0 153	0 39	2 7	2 8	524 5-	426 7-	RSN
100	09	NOV	1990	17h31m19s	8°54'54"	84°39'05"	32 10 4 0	0	0	0	0 0 278	0 38	5 3	4 0	391 0-	318 1-	RSN

*** ESCUELA DE GEOLOGIA, U.C.R. ***
 BASE DE DATOS: RSN1990 PAG: 3

N°	DD	MM	AAAA	HH	MM	SS	LATITUD	LONGITUD	PROF	MAG	STA	DM	GAP	RMS	ERH	ERZ	XCRL	YCRL	FUENTE DEL SISMO								
101	09	NOV	1990	21h	11m	39s	8°55' 46"	84°11' 06"	29	30	4	6	0	0	0	276	0	36	6	9	4	7	442	7-	319	7-	RSN
102	12	NOV	1990	00h	48m	42s	10°20' 86"	83°51' 81"	28	00	4	7	0	0	0	256	0	40	1	7	1	2	551	5	258	7	RSN
103	13	NOV	1990	00h	48m	48s	10°35' 13"	83°46' 85"	26	60	4	8	0	0	0	236	0	23	4	1	3	4	560	5	285	0	RSN
104	17	NOV	1990	23h	03m	27s	9°36' 82"	83°42' 44"	10	70	4	2	0	0	0	92	0	42	1	9	3	3	495	5-	395	9-	RSN
105	19	NOV	1990	09h	00m	37s	9°36' 25"	83°42' 25"	10	30	4	2	0	0	0	92	0	41	2	2	2	1	495	9-	394	8-	RSN
106	24	NOV	1990	05h	48m	29s	10°29' 22"	85°52' 78"	3	30	4	0	0	0	0	320	0	31	4	9	4	8	330	7	274	5	RSN
107	27	NOV	1990	06h	43m	03s	10°15' 42"	85°45' 78"	20	30	4	0	0	0	0	323	0	25	3	8	1	4	343	4	249	0	RSN
108	02	DIC	1990	18h	43m	39s	7°01' 86"	82°55' 51"	2	50	4	1	0	0	0	338	0	31	0	0	0	0	464	0-	324	3-	RSN
109	04	DIC	1990	08h	02m	41s	10°21' 28"	84°57' 74"	110	50	4	8	0	0	0	139	0	64	9	5	6	5	431	1	259	5	RSN
110	17	DIC	1990	12h	34m	19s	7°02' 98"	82°25' 80"	2	40	5	0	0	0	0	339	0	34	12	6	5	5	582	3-	238	3-	RSN
111	19	DIC	1990	14h	07m	51s	10°37' 09"	86°31' 11"	13	90	4	5	0	0	0	336	0	30	8	3	4	4	260	9	289	4	RSN
112	22	DIC	1990	17h	27m	54s	9°54' 66"	84°18' 77"	4	50	5	7	0	0	0	144	0	25	0	8	0	8	428	6-	428	8-	RSN
113	22	DIC	1990	17h	28m	45s	9°51' 35"	84°18' 84"	4	70	5	1	0	0	0	271	0	27	6	3	2	9	428	5-	422	7-	RSN
114	22	DIC	1990	17h	36m	57s	9°53' 98"	84°19' 24"	6	20	4	2	0	0	0	272	0	26	3	8	1	9	427	7-	427	6-	RSN
115	22	DIC	1990	17h	41m	21s	9°56' 22"	84°20' 27"	4	00	4	2	0	0	0	287	0	41	4	9	2	3	499	5	213	2	RSN
116	22	DIC	1990	18h	24m	51s	9°53' 66"	84°18' 84"	10	90	4	6	0	0	0	151	0	43	3	1	4	2	428	5-	427	0-	RSN
117	22	DIC	1990	18h	54m	27s	9°54' 32"	84°15' 79"	16	00	4	3	0	0	0	272	0	33	3	8	4	8	434	1-	428	2-	RSN
118	22	DIC	1990	19h	56m	19s	9°56' 71"	84°12' 70"	24	80	4	1	0	0	0	270	0	29	8	3	3	5	513	3	214	1	RSN
119	22	DIC	1990	22h	02m	17s	9°53' 48"	84°17' 63"	4	00	4	0	0	0	0	237	0	24	2	8	0	9	430	3-	426	6-	RSN
120	22	DIC	1990	23h	10m	15s	9°51' 35"	84°18' 71"	5	50	4	0	0	0	0	236	0	32	5	1	2	8	428	7-	422	7-	RSN
121	26	DIC	1990	06h	19m	09s	9°54' 55"	84°19' 55"	5	90	4	0	0	0	0	159	0	26	1	3	0	6	427	2-	428	6-	RSN
122	27	DIC	1990	19h	59m	55s	9°52' 29"	84°18' 01"	11	20	4	1	0	0	0	271	0	17	3	0	2	2	430	0-	424	4-	RSN
123	30	DIC	1990	08h	16m	43s	8°58' 88"	83°54' 63"	25	10	4	2	0	0	0	287	0	29	3	6	8	5	473	0-	325	9-	RSN
124	30	DIC	1990	23h	40m	27s	10°31' 00"	86°50' 44"	3	60	4	5	0	0	0	340	0	27	9	3	4	0	225	6	278	4	RSN



FOTO 3: Daños en la corniza sur de la Iglesia de Moravia, San José. Sismo del 25 de marzo de 1990.



FOTO 4: Daños en el Hospital Monseñor Sanabria de Puntarenas. Temblor del 25 de marzo de 1990.

FOTO 5: Daños en paredes del Hospital Monseñor Sanabria, sismo del 25 de marzo de 1990. Esta pared ya había sido reparada por daños ocasionados por el temblor del 2 de abril de 1983.



FOTO 6: Daños en el Muelle de Frigoríficos, ubicado en el estero de Puntarenas, por licuefacción del suelo. Temblor del 25 de marzo de 1990.



FOTO 7: Daños estructurales en casa mal construida Piedras Negras, Cóbano. Temblor del 25 de marzo de 1990.



FOTO 8: Daños en construcciones de mala calidad, Cóbano. Temblor del 25 de marzo de 1990.



FOTO 9: Deslizamientos provocados por el sismo del 25 de marzo de 1990 en el camino de Paquera a Tambor.

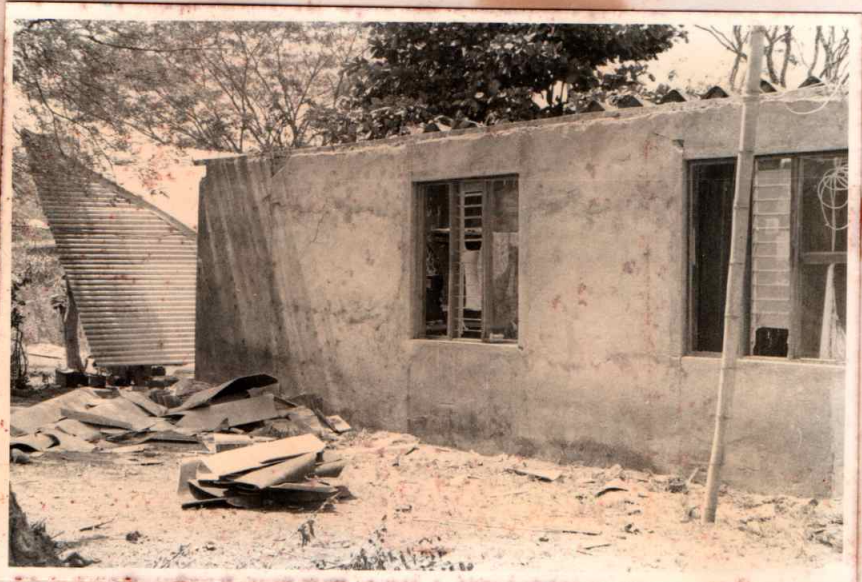


FOTO 10: Daños en construcciones en Cóbano, Nótese el hundimiento del techo. Sismo del 25 de marzo de 1990.



FOTO 11: Colapso de un techo por no estar bien unida a la estructura principal, sismo del 25 de marzo de 1990.



FOTO 12: Tubos de sostén salidos de sus agujeros debido al salto de la estructura que sostenían, como consecuencia del sismo del 25 de marzo de 1990.



FOTO 13: Sismograma que muestra la actividad sísmica de Puriscal, junio de 1990.



FOTO 14: Deslizamientos provocados por el temblor del 30 de junio de 1990, de magnitud 5,0, en Puriscal.



FOTO 15: Deslizamientos provocados por el
enjambre sísmico de Puriscal de mayo a ju-
nio de 1990.

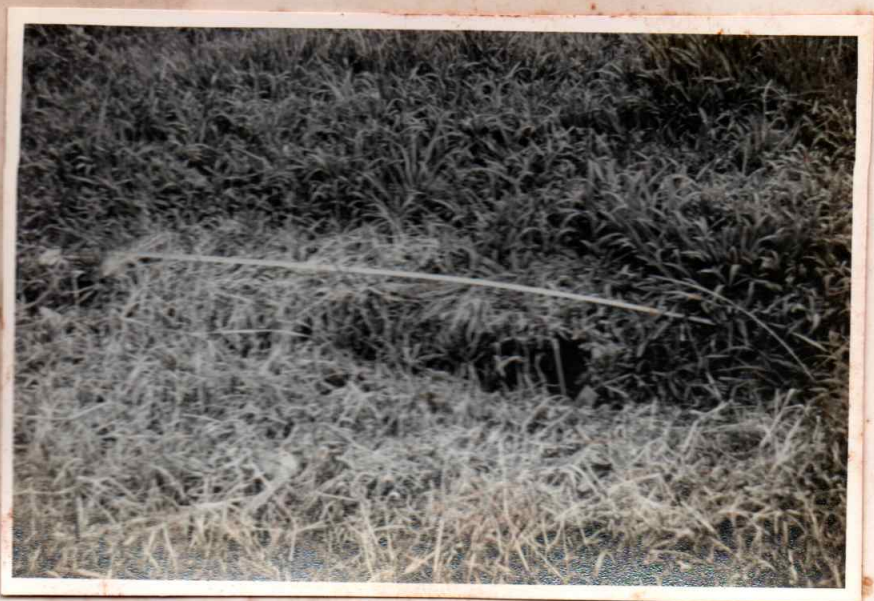


FOTO 16: Hundimientos de suelo originados
por el enjambre sísmico de Puriscal de mayo
a junio de 1990.



FOTO 17: Daños en estructuras de madera por los sismos de Puriscal de mayo a junio de 1990

FOTO 18: Daños en construcciones de concreto, causados por los sismos de la región de Puriscal, de mayo a junio de 1990.

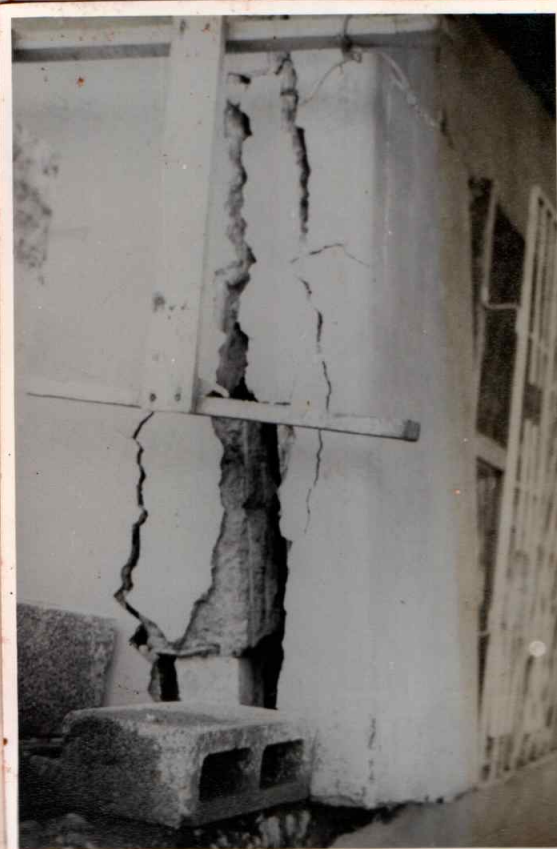


FOTO 19: Daños en
construcciones de
concreto, en Puris-
cal de mayo a junio
de 1990. 50



FOTO 20: Daños en
construcciones de
concreto, en Puris-
cal de mayo a junio
de 1990.

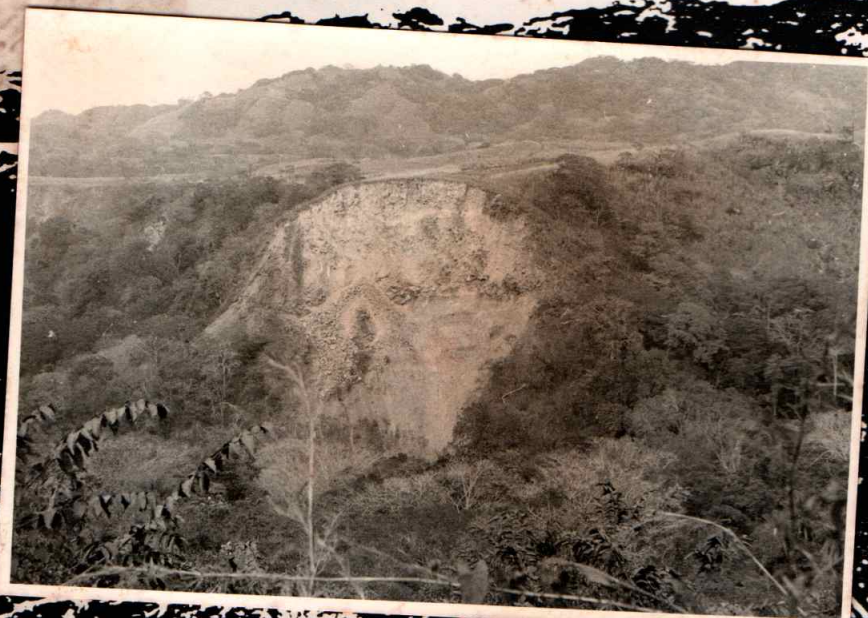


FOTO 21: Deslizamiento de grandes proporciones en la margen del río Virilla, originado por el temblor del 22 de diciembre de 1990.



FOTO 22: Represamiento en el cauce del río Virilla a consecuencia de los deslizamientos producidos por la sacudida del sismo del 22 de diciembre de 1990.