

LOS SISMOS COMO FUENTE GENERADORA DE DESLIZAMIENTOS Y SU INFLUENCIA SOBRE LA INFRAESTRUCTURA Y LINEAS VITALES DE COSTA RICA

Dr. Geól. Sergio Mora C.

Jefe Oficina de Geología aplicada, ICE; Profesor Escuela C.A. de Geología, CIGEFI, Universidad de Costa Rica; INGEOSA.

M.Sc. Geof. Luis Diego Morales

Profesor Asociado Escuela Centroamericana de Geología y Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEEI), Univ. C.R.

RESUMEN

La generación de deslizamientos, entre otras causas, se ha correlacionado con la actividad sísmica en diferentes regiones de Costa Rica. Los resultados se presentan en mapas donde se destacan los epicentros, con los deslizamientos, avalanchas, caminos, puentes y las áreas más afectadas. En una tabla se presentan las características más relevantes de los temblores destructivos generadores de deslizamientos. Los daños ocasionados han sido considerables: carreteras y caminos vecinales, línea férrea, puentes, lecherías, viviendas y cerca de cincuenta víctimas humanas, a causa de los deslizamientos desencadenados por las sacudidas sísmicas.

ABSTRACT

A large amount of landslides has frequently been generated by seismic activity throughout Costa Rica. The results are presented in different maps, showing epicenters, landslides, mudflows, roads, bridges, and the most affected areas. Relevante seismic data of the earthquakes triggering landslides, are presented in a table. Roads, railroads, bridges, houses and dairy farms have been destroyed as a result of the landslides triggering by the seismic shaking as well as around fifty humans victims.

INTRODUCCION

Las características geomorfológicas y tectónicas de Costa Rica, hacen que el país sea susceptible en gran medida a la actividad sísmica y a sus peligros asociados, de los cuales se derivan varios tipos de efectos con los que se manifiesta su poder destructivo y su estado de riesgo potencial.

Si a lo expuesto anteriormente agregamos las características climáticas del país, más los efectos que la actividad irracional o improvisada del hombre ha generado, al explotar sus recursos naturales o ampliar su espacio vital, es fácil comprender las causas de la elevada frecuencia con que los sismos han generado deslizamientos y otros fenómenos asociados.

El crecimiento del país, ha requerido de nuevas obras civiles y el desarrollo de infraestructura en regiones que están expuestas a las violentas fuerzas de la naturaleza, por lo que el hombre debe conocer los peligros del ambiente y comprender los mecanismos que generan los fenómenos adversos y estar preparado para mitigarlos.

Es nuestro objetivo, establecer la relación entre ciertos temblores y los deslizamientos desencadenados, y determinar las áreas o regiones afectadas, destacando los principales peligros y los daños causados.

GENERACION DE DESLIZAMIENTOS DURANTE UN SISMO

La generación de los deslizamientos obedece, por lo general, a la conjugación de varios parámetros, los cuales pueden actuar ya sea en conjunto o por separado: geometría del perfil crítico de la ladera, propiedades físico-mecánicas (resistencia) de los materiales que la componen, la presencia y diversas formas en que se manifiesta la acción del agua (saturación, límite líquido, presión intersticial, regímenes de flujo) etc. Debe agregarse a ello la socavación y pérdida de sustento en la base de las laderas por la erosión de los ríos y también la actividad humana (explotación agropecuaria, deforestación, labores de tajos, caminos, etc.; (Mora, 1985; Morales; 1983 y 1985).

La inclusión de una vibración sísmica en un conjunto de suelos y/o rocas, sobre todo aquellos bajo una condición crítica de equilibrio límite (factor de seguridad cercano a la unidad), tiene por efecto inmediato la aplicación de un esfuerzo adicional, manifestado como la componente horizontal de la aceleración de la gravedad. Ello incide directamente en un aumento drástico de la presión intersticial y en una disminución importante de la cohesión y del ángulo de fricción de los materiales. En el caso particular de los suelos cuya composición granulométrica es predominantemente arenosa y que se ven sometidos a condiciones no drenadas temporales, se puede además desarrollar el fenómeno de la licuefacción (Seed, 1968).

Las zonas con pendientes mayores de 30° pueden sufrir deslizamientos o derrumbes como resultado de la sacudida del terreno, dependiendo del tipo y condiciones de los materiales, grado de erosión y estabilidad de las pendientes. Bajo condiciones dinámicas la resistencia del suelo al esfuerzo cortantes es menor que su valor estático, consecuentemente, un deslizamiento potencial de masas de roca y suelo el cual es estable dentro de condiciones estáticas, puede desencadenarse después de un número de ciclos de vibración causados por el terremoto, así como pueden quedar áreas debilitadas cuyo estado de inestabilidad puede generar en un deslizamiento provocado por algún otro evento, semanas o meses más tarde (Morales, 1983).

ANÁLISIS DE LA SISMICIDAD RESPONSABLE DE LOS DESLIZAMIENTOS Y SUS EFECTOS

Los temblores que en el pasado han generado deslizamientos, se localizan (Fig. 1), en el arco magnético de Costa Rica, una región de valles y serranías, en donde las condiciones más favorables para los desarrollos urbanos, y de infraestructura se dan en ambientes geológicos cuyas características tónicas, son también favorables para la ocurrencia de temblores superficiales ($h < 20$ km), originados en fallas locales, y aunque son de magnitud moderada ($5 < M \leq 6,5$), afectan áreas pequeñas pero con intensidades fuertes (VII - VIII - IX) y frecuencias altas, desencadenando deslizamientos en los bordes de los valles, donde laderas de fuerte pendiente, erosionadas, deforestadas, con materiales incompetentes y debilitados por los cortes de caminos, se deslizan o derrumban parcialmente, ante la sacudida sísmica.

Los deslizamientos así desencadenados, afectan las líneas vitales dañando carreteras, caminos vecinales, acueductos, puentes, torres de líneas de transmisión eléctrica y comunicaciones, o bien pueden originar avalanchas de lodo al obstruir los cauces de los ríos, amplificando los daños. En otras ocasiones, han sepultado viviendas y lecherías, siendo responsables de la muerte de unas 50 personas. La interrupción de las vías de comunicación y de los servicios, dificultan la asistencia a los damnificados y la atención de la emergencia se hace deficiente.

La tabla 1, resume las principales características sísmicas de cada uno de los eventos y de sus efectos más relevantes.

Por la destrucción causada o su impacto en las líneas vitales e infraestructura local, deben destacarse seis temblores con rango de terremotos:

a. Fraijanes (30-12-1888)

Este evento es el responsable de la generación de gran cantidad de deslizamientos y de importantes avalanchas de lodo en los ríos Poás, Poasito y Tambor (Fig. 2) (Michaud, 1911). Entre los deslizamientos más grandes y notables se encuentra el que dió origen a la Laguna de Fraijanes (Fig. 2A), (hoy día un bello parque recreativo) y causó la muerte del Señor Rafael Castro y familia. Alcanzó dicho deslizamiento un ancho máximo de 200 m y recorrió una longitud de más de medio kilómetro hasta llegar al cauce del río (Pittier, 1889).

Las sacudidas sísmicas, afectaron principalmente las ciudades y alrededores de Alajuela, Heredia y San José, causando destrucción o daños a cientos de casas y edificios (González, 1910).

b. Sarchí-Bajos del Toro (6-6-1912)

Los efectos más notables de este terremoto (Fig. 2) se relacionan con los deslizamientos de cientos de hectáreas y las avalanchas de lodo generadas a consecuencia del represamiento de los ríos, sobre todo del Anonos y Gorrión que drenan hacia el norte (Valle de Bajos del Toro), y el Sarchí, Trojas y San Juan que lo hacen hacia el sur (Valle Central) (Tristán et al, 1912).

Dichas avalanchas destruyeron puentes, caminos y algunas viviendas. Relevante fue la destrucción del puente sobre el río Sarchí, en la carretera

principal que une Grecia y Sarchí, por ser una arteria vital para la región en ese entonces.

Los sectores poblados más dañados fueron los de Grecia, Sarchí, Naranjo y pueblos vecinos.

c. Orotina (4-3-1924)

Es el evento que con más violencia ha afectado a toda la parte central del país. Su posible origen en una falla local en el litoral pacífico (Fig. 3), indica una fuente sísmica muy peligrosa en una región con un desarrollo de infraestructura y líneas vitales importantes (Morales, 1983 y 1985). Este sismo es el único que se encuentra fuera del arco magnético y que ha generado deslizamientos o derrumbes significativos que afectaron caminos vecinales y a la vía férrea, la cual también fue dañada por la violencia de la sacudida, (ver tabla 1).

d. Patillos (30-12-1952) ($M_s 5.5$)

Los efectos más notorios de la sacudida sísmica originada por este temblor, fueron cientos de hectáreas de terrenos deslizados y las posteriores avalanchas de lodo (Fig. 4), con derrumbes que interrumpieron los caminos vecinales. La abrupta topografía, las condiciones de los materiales rocosos y la humedad de la región, favorecieron la generación de los deslizamientos, algunos de los cuales, al sepultar lecherías y viviendas, fueron los responsables de 21 muertos (Miyamura, 1980).

El desarrollo de infraestructura y líneas vitales cerca de la zona, como la carretera San José-Guápiles, con túneles y puentes sobre ríos caudalosos, son estructuras vulnerables al peligro sísmico, tanto a la sacudida sísmica, como a los deslizamientos y avalanchas de lodo, que aumentan el riesgo sísmico de la región.

e. Tilarán (14-04-1973)

Este terremoto generó una gran cantidad de deslizamientos en la cuenca del río Chiquito y en las áreas de Chiripa y Tilarán (Plafker, 1973). De dichos deslizamientos, varios están aún activos y de ellos destaca por su tamaño, el de Santa Rosa (Fig. 5). Los deslizamientos generados por la sacudida sísmica, fueron responsables de la muerte de 23 personas y de daños a los caminos vecinales (Plafker, 1973).

El desarrollo de importantes obras civiles como presas, túneles, plantas generadoras de electricidad, canales para riego y mejores caminos en la región, significan también un riesgo sísmico más alto.

f. División-Buenavista : (3-7-1983) ($M_s 6.1$)

La fuerte actividad sísmica generada por este terremoto, puso en evidencia una nueva zona sísmica, desconocida hasta ese momento. La extensión de la zona afectada por los deslizamientos y los daños a la carretera interamericana fueron considerables y muchos de ellos se deben a la degradación generalizada de las condiciones naturales de las cuencas de los ríos Buena vista, Blanco y Chirripó Pacífico. (Leandro et al, 1983; Mora et al, 1984; Morales

y Leandro, 1985).

La mayoría de los deslizamientos fueron de tipo superficial, movilizand apenas los horizontes someros de los perfiles de meteorización (residuales) de los suelos. La presencia de pequeños parches boscosos fue a menudo suficiente para detener o evitar el desarrollo de los deslizamientos.

En la figura 6, se presentan las regiones más afectadas y las isosistas de intensidades máximas. Relevantes fueron los deslizamientos en el cerro Paguaguas, así como los que afectaron la carretera interamericana, y otras líneas vitales (caminos vecinales, acueductos, torres de líneas de transmisión eléctrica).

g. Un hecho circunstancial?

En la figura 7, se presenta el deslizamiento y posterior avalancha de Purisil, en donde se dio la concordancia de un pequeño evento sísmico (9-3-198 M = 2,4) antes del deslizamiento, en la margen izquierda de la quebrada Sant María, el cual ocasionó un represamiento temporal. Una vez que el tirante de agua generó una presión suficiente sobre la presa de materiales sueltos, se desarrolló una avalancha que amenazó con destruir el pueblo de Purisil.

CONCLUSIONES

En los últimos cien años, se han presentado diferentes temblores en el arco magmático de Costa Rica, que es la región de valles y serranías al interior del país, generando deslizamientos y posteriores avalanchas, que han afectado líneas vitales, obras de infraestructura, viviendas y causado alrededor de cincuenta muertos.

Las características geológicas, tectónicas, fisiográficas y climáticas de Costa Rica, junto con las actividades antrópicas, favorecen el desarrollo de deslizamientos asociados con una actividad sísmica moderada ($5 < M < 6,5$), originada en el fallamiento local.

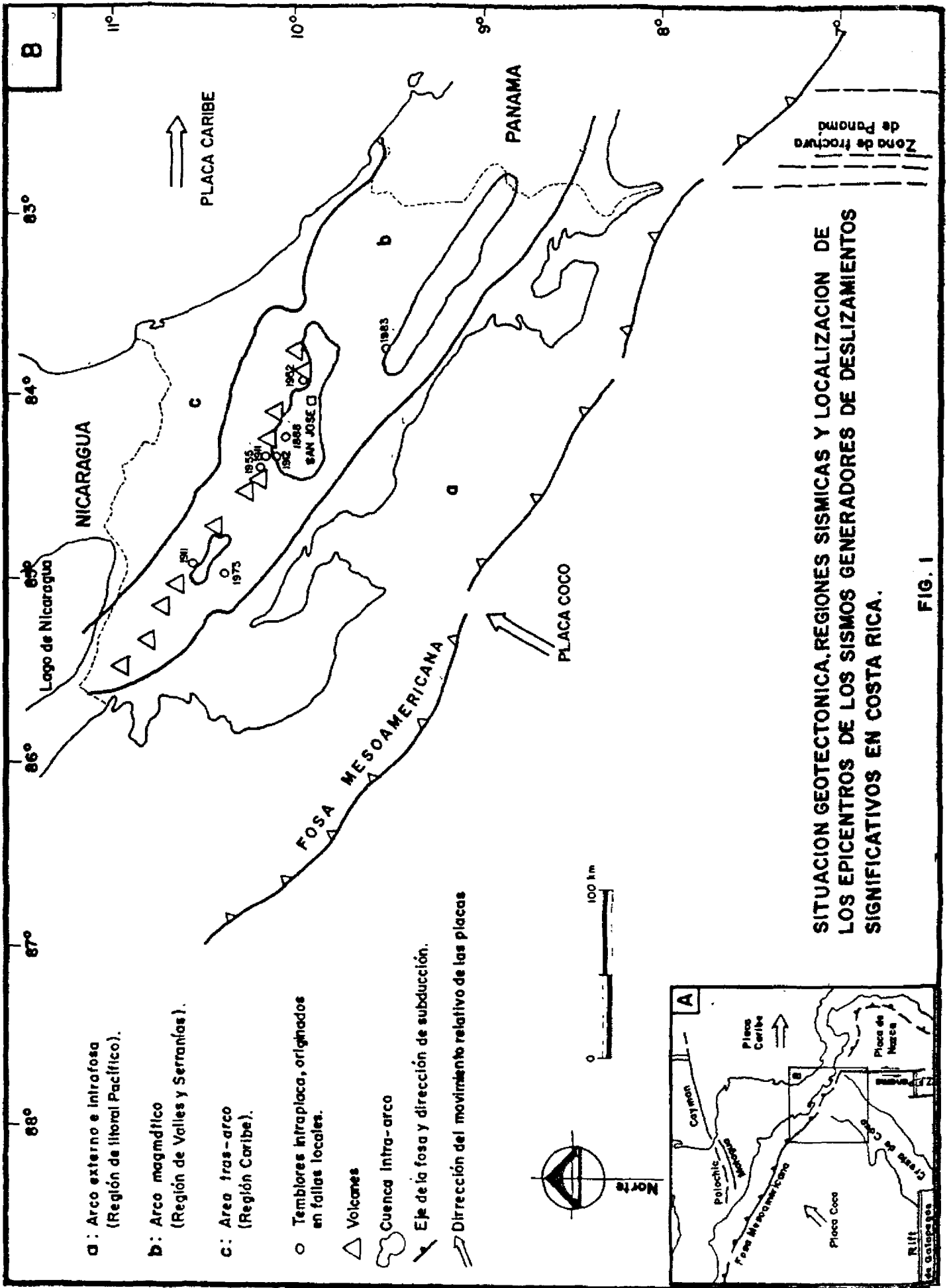
El crecimiento demográfico y el desarrollo de infraestructura y líneas vitales en regiones expuestas a los peligros geológicos, aumentan el grado de riesgo sísmico, por lo cual el costo socio-económico en futuros eventos sísmicos será más elevado, requiriéndose un trabajo interdisciplinario para minimizar el riesgo.

BIBLIOGRAFIA

- Alfaro, B.,; Michaud, G.; Biolley, P.; 1911. Informe sobre el terremoto de Toro Amarillo, Grecia. An. Centro de Est. Sism. de C.R. Museo Nal. p. 35-41.
- González, C., 1910: Temblores, terremotos, inundaciones y erupciones volcánicas en Costa Rica. 1608-1910. 200 págs. Tipografía de Abelino Alsina, San José, Costa Rica.
- Leandro, G.; León, C.; Montalto, F.; Elizondo, J. Chávez, R.; 1983. Informe geológico-geotécnico preliminar sobre el sismo La División, P.Z. Com. Nal. Emerg.-Deptos. Geología ICE y RECOPE; 69 pp.
- Michaud, G.; 1911. Notas sobre el terremoto de Fraijanes (30-12-1888). Anales Centro Est.Sism. de Costa Rica. Museo Nal. p. 9-18.
- Miyamura, S.; 1980. La sismicidad de Costa Rica. Editorial U.C.R. 190 pp.
- Mora, S.; 1985. Las laderas inestables de Costa Rica. Rev. Geol. Am. Ctrl. Esc. C.A. Geología, U.C.R. Vol. 3. p. 131-161.
- Mora, S.; Valdés, R.; Chávez, R.; Elizondo, J.; 1984. Informe Geológico-geotécnico para la reubicación de las poblaciones afectadas por el sismo de La División, P.Z. Com. Nal. Emerg. (inf. inédito).
- Morales, L.; 1983. Riesgos geológicos asociados con terremotos en los alrededores del Golfo de Nicoya. Brenesia 21:93-117.
- Morales, L.; 1985. Las zonas sísmicas de Costa Rica y alrededores. Rev. Geol. Am. Ctrl. Vol. 3; p. 69-101.
- Morales, L.; Leandro G.; 1985. Riesgos geológicos asociados al terremoto de Buenavista Pérez Zeledón. Tercer Sem. Nal. Geotecnia - Asoc. Costarricense de Meca. Suelos e Ing. Fund. 20 pp.
- Pittier, H., (en González, 1910): Informe sobre el terremoto de 1888.
- Plafker, G.; 1973. Field reconnaissance of the effects of the Tilarán (14-4-1973) earthquake. B.S.S.A., Vol. 63; p. 1847-1856.
- Tristán, F. 1911. Notas sobre el Terremoto de Guatuso (10-10-1911), An. Centr. Est. Sism. de C.R.-Museo Nal. p. 47-51.
- Tristán, F.; Biolley, P.; CotsP.; 1912. The Sarchí earthquake, Costa Rica. B.S.S.A.; Vol. 2 p. 201-208.
- Sauter, F. (1979). Damage Prediction for Earthquake Insurance. II. U.S. Conference Earthquake Engineering, Stanford. Calif.
- Seed, B.; 1968. Landslides during earthquakes during soil Liquefaction. IV Terzaghi lecture. Jour. Soil Mech. Fdt. Eng. Proc. Am. Soc. Civ. Eng. SM-5. p. 191-261.

Tabla I*. Principales sismos generadores de deslizamientos o avalanchas en Costa Rica.

Fecha	Hora (GMT)	Coordenadas		Localidad	Intens. Max. (MM)	Comentarios
		N	W			
30-12-1888	10:12'	10°08'	84°11.7'	Fraijanes	VIII-VIII	Deslizamientos y avalanchas en las cuencas de los ríos Poás y Tambor, cinco muertos.
10-10-1911	13:37'	10°36'	84°56'	Guatuso	VIII+	Deslizamientos y derrumbes en la cordillera de Tilarán
29-8-1911	4:06'	10°14'	84°18'	Bajos del Toro	VIII+	Deslizamientos y avalanchas en la Fila Gorrión, Corderón del Toro y Grecia
6-6-1912	6:40'	10°11.5'	84°16.5'	Sarchí-Bajos del Toro	VII	Deslizamientos y avalanchas en la Fila Gorrión, Bajos del Toro, Grecia, Sarchí. Casas dañadas, puentes destruidos, varios muertos.
4-3-1924	10:07'	9°51.3'	84°33'	Orotina	IX-X	Deslizamientos en el Aguacate y Turubares. Muchas casas y edificios dañados al igual que la línea férrea y caminos.
30-12-1952	12:07'	10°02'	83°55'	Patillos	VII	Deslizamientos afectan cientos de hectáreas casas dañadas, caminos destruidos, avalanchas en ríos Blanco y Sucio. Rancho Redondo, Tierras Morenas, Bajo Máquina; 21 muertos
1-9-1955	17:33'	10°14'	84°19'	Bajos del Toro	VIII	Deslizamientos, avalanchas, casas dañadas en la cuenca del río Segundo, diez muertos
14-4-1973	8:34'	10°27.5'	84°54'	Tilarán-río Chiquito	VIII-IX	Deslizamientos, casas y caminos destruidos; edificios dañados; 23 muertos.
3-7-1983	17:14'	9°30.6'	83°40'	División Buenavista	VIII-IX	Deslizamientos; daños grandes en la Carretera



a : Arco externo e intrafosa (Región de litoral Pacífico).

b : Arco magmático (Región de Valles y Serranías).

c : Área tras-arco (Región Caribe).

○ Temblores intraplaca, originados en fallas locales.

△ Volcanes

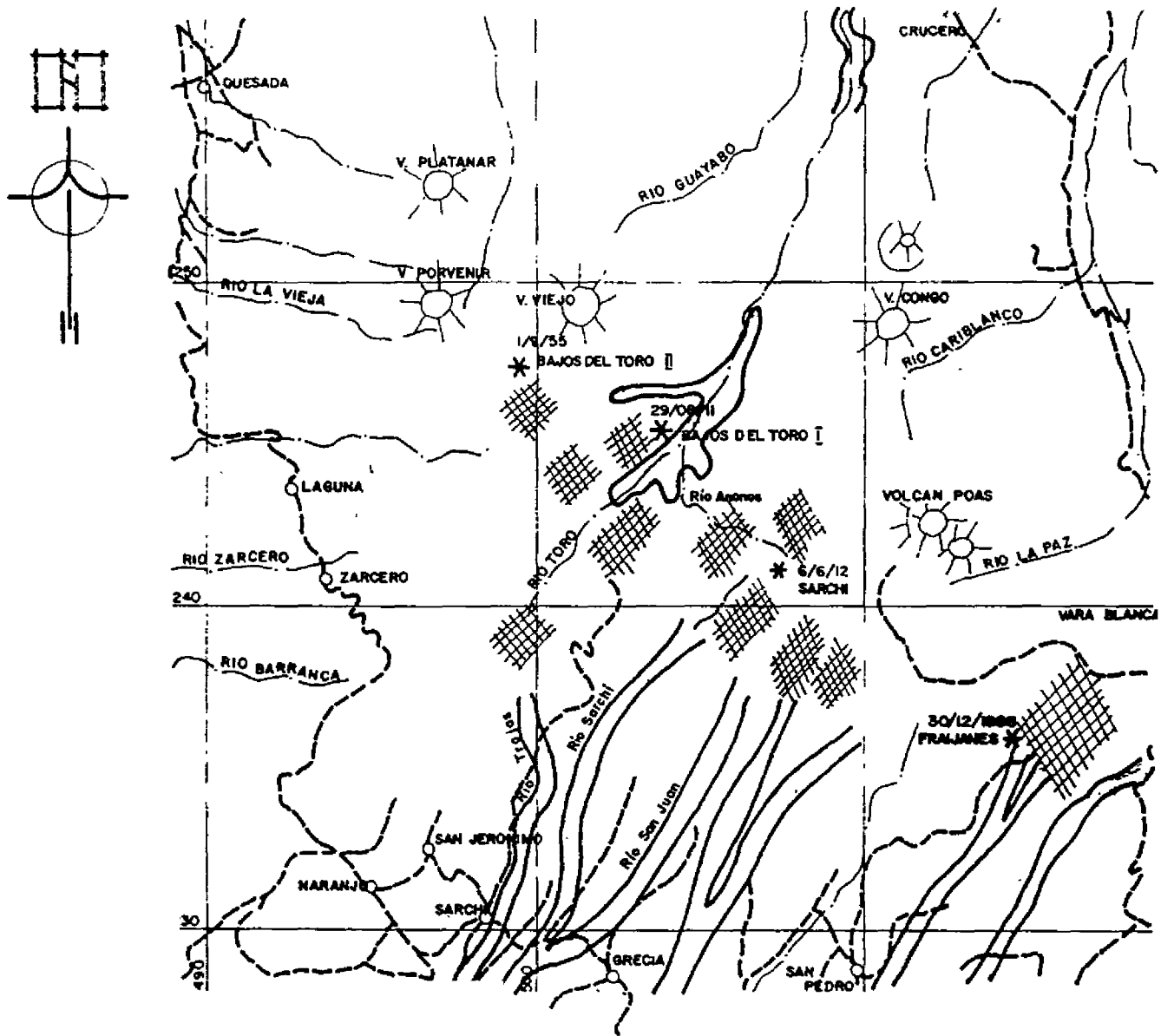
☁ Cuencas intra-arco

↖ Eje de la fosa y dirección de subducción.




↗ Dirección del movimiento relativo de las placas

SITUACION GEOTECTONICA, REGIONES SISMICAS Y LOCALIZACION DE LOS EPICENTROS DE LOS SISMOS GENERADORES DE DESLIZAMIENTOS SIGNIFICATIVOS EN COSTA RICA.

FIG. 1

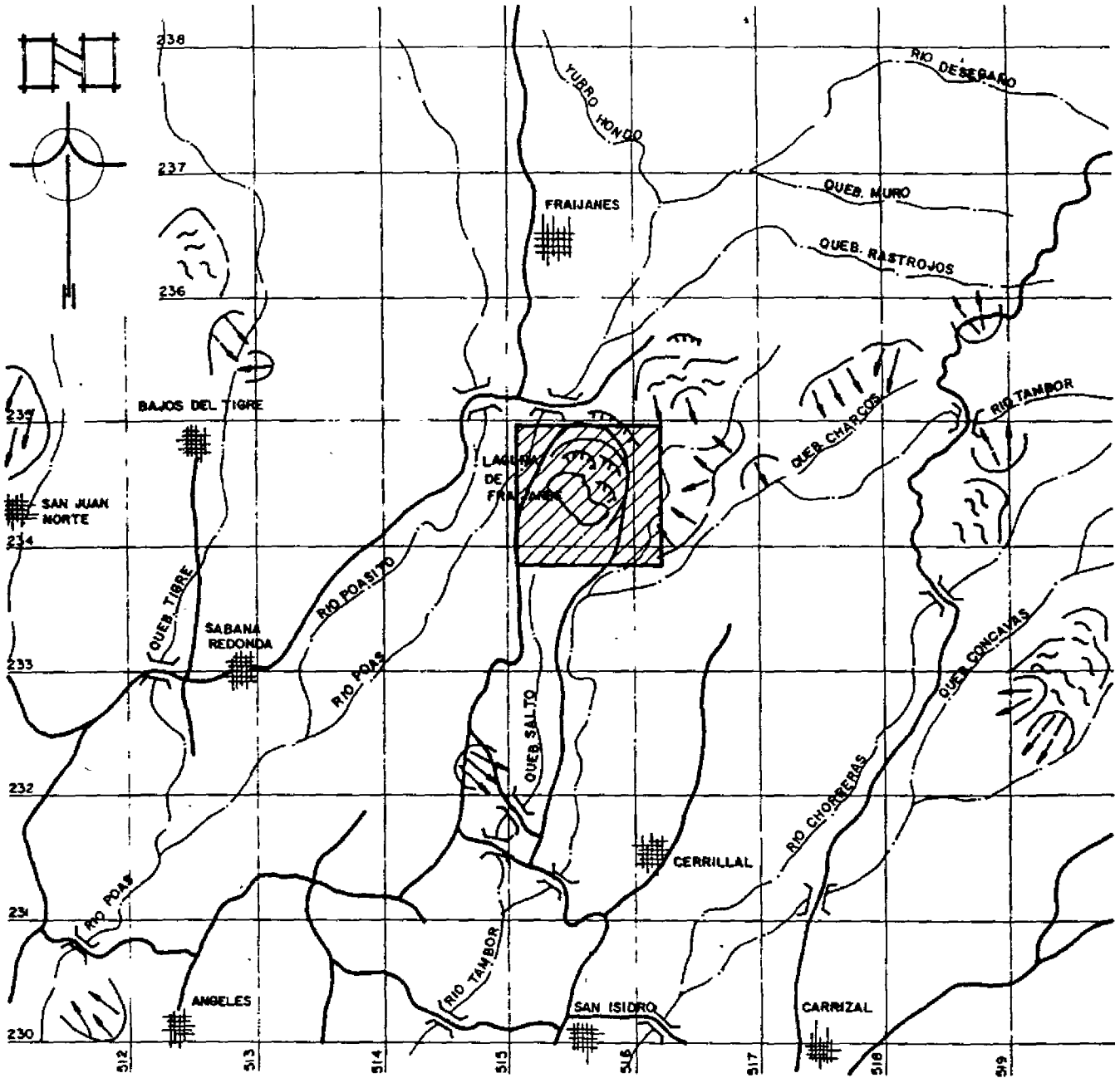


SIMBOLOGIA

-  AREAS DE MAYOR DESLIZAMIENTO
-  AREAS AFECTADAS POR AVALANCHA DE LODO, RUPTURA DE PUENTES, INUNDACIONES, ETC.
-  EPICENTROS

5 0 5 Km.
 ESCALA GRAFICA 1:200 000

FIG 2. MAPA DE UBICACION DE LOS EPICENTROS DE LOS SISMOS DE FRAIJANES (30-12-1868), BAJOS DEL TORO I (29-8-1911), SARCHI (6-6-1912) Y BAJOS DEL TORO II (1-9-1955) Y SU AREAS DE DESTRUCCION.



0 1 2 km.
 ESCALALA GRAFICA

- DESLIZAMIENTO ACTIVO.
- DESLIZAMIENTO ACTUALMENTE INACTIVO
- REPTACION DE SUELOS.
- ANTIGUAS GRIETAS DE DESLIZAMIENTOS

(HOJA BARVA - 3346 - II)

FIG. Nº 2-A EL DESLIZAMIENTO DE FRAIJANES Y OTROS ALEDAÑOS

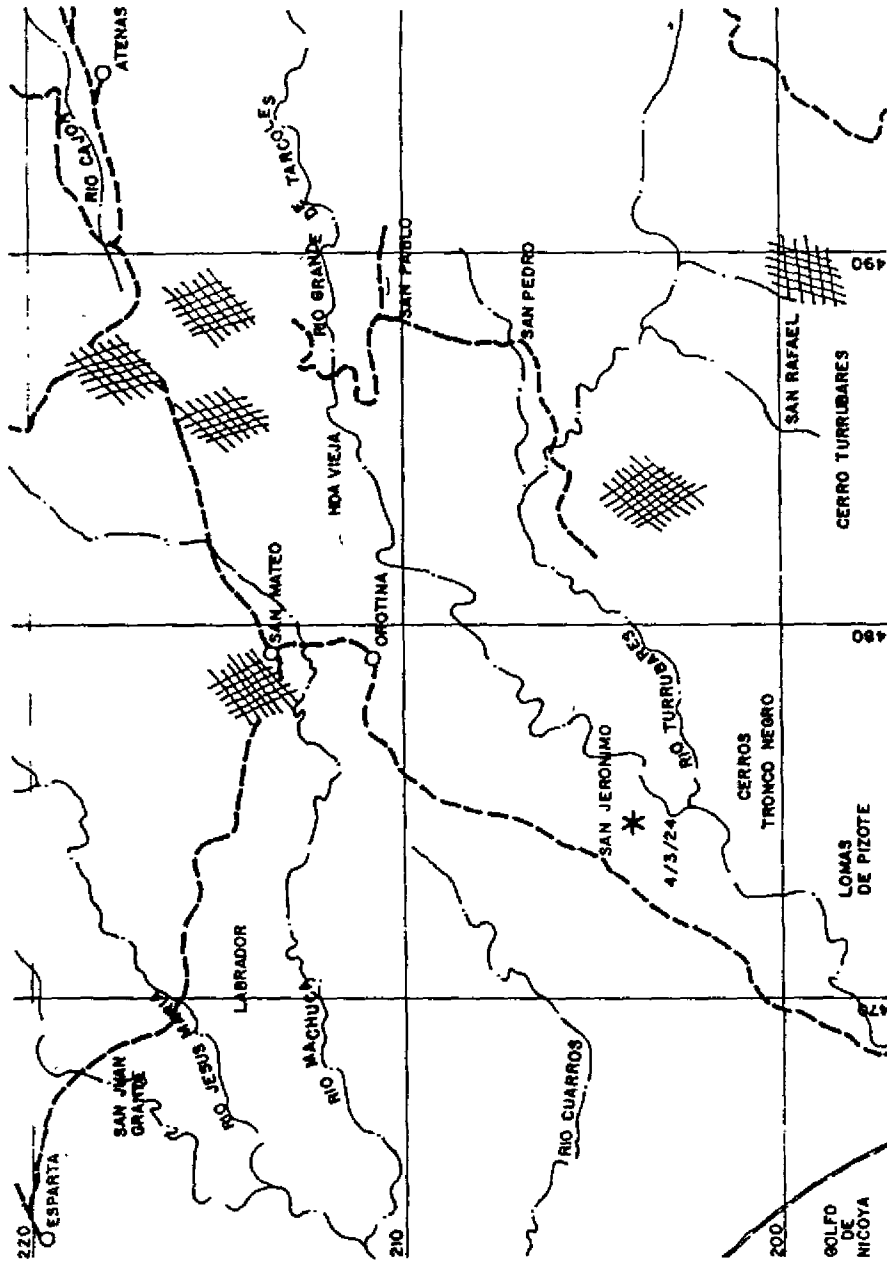
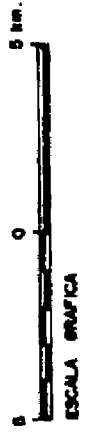


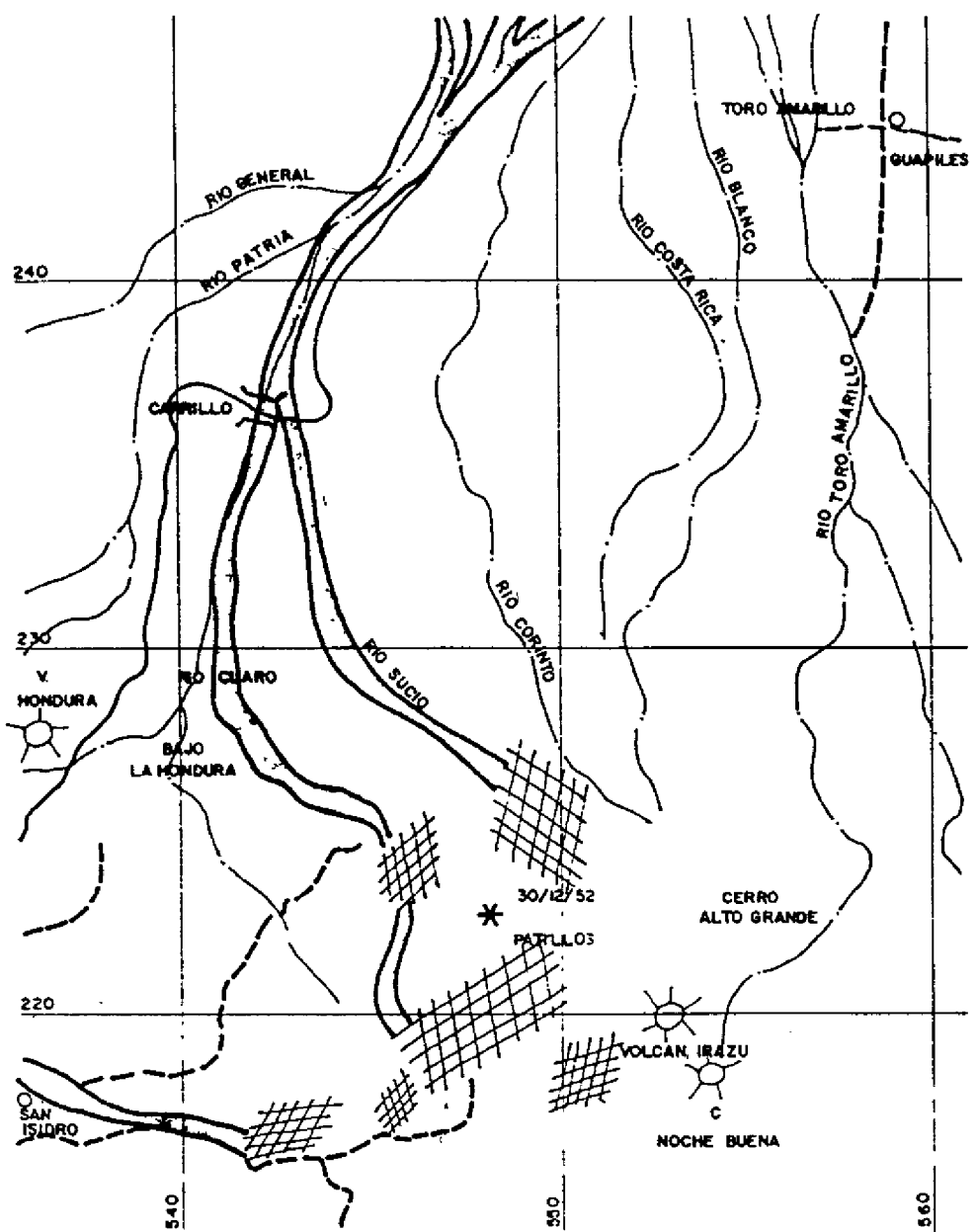
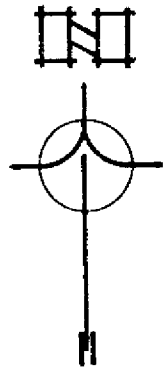
FIGURA 3
 EPICENTRO Y AREAS DE DESLIZAMIENTO GENERADOS POR EL SISMO DE OROTINA (4/3/1924; Mb=6.1; Ms=7.0)

SIMBOLOGIA

* EPICENTRO

ZONAS DE DESLIZAMIENTOS





SIMBOLOGIA




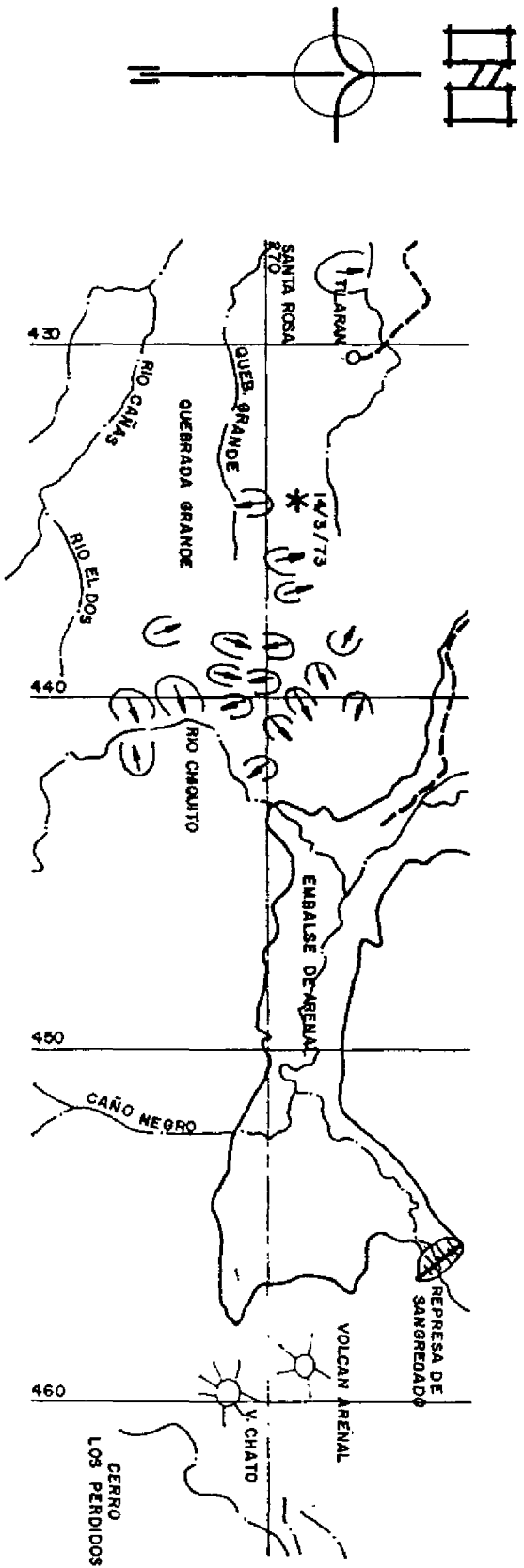
-  AREAS DE MAYORES DESLIZAMIENTOS
-  AREAS AFECTADAS POR ANILANCHAS DE LODO, RUPTURA DE PUENTES, INUNDACIONES ECT.
-  EPICENTRO



FIG. 4
 MAPA DE UBICACION DEL EPICENTRO DEL SISMO DE PATILLOS (30/12/1952) Y SU AREA DE DESTRUCCION.



SIMBOLOGIA



DESPLAZAMIENTO.

* EPICENTRO DEL EVENTO PRINCIPAL



ESCALA GRAFICA
1:200 000

FIG. N° 8

LOCALIZACION DE LOS DESLIZAMIENTOS MAS IMPORTANTE GENERADOS POR EL SISMO DE TILARAN (14-3-75; M=6.5) BASADO EN PLAFKER (1973) Y SOLANO (S.F.).

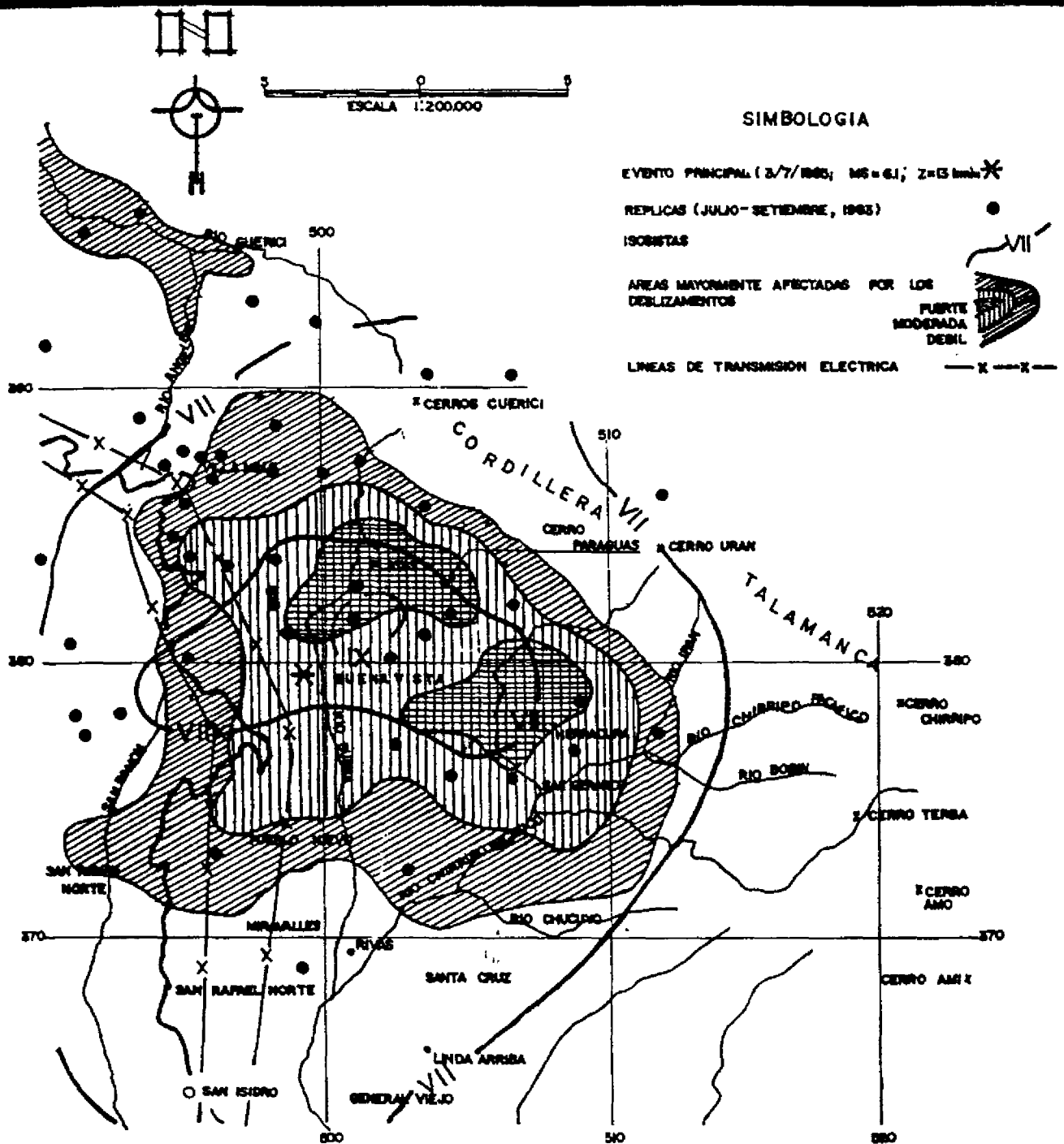
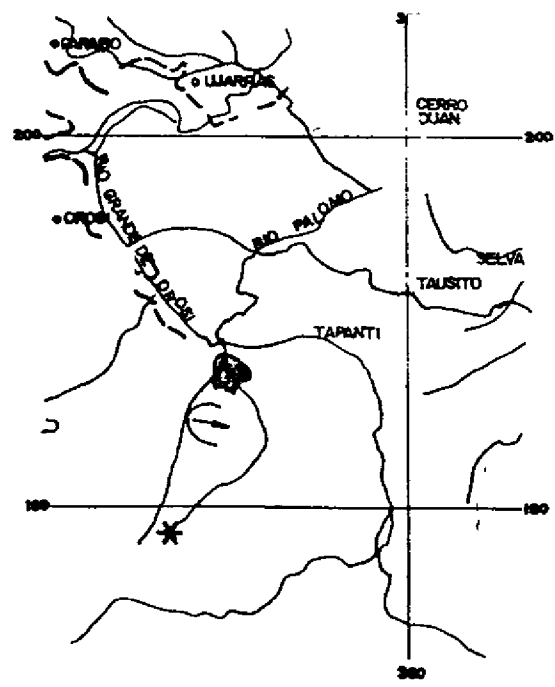
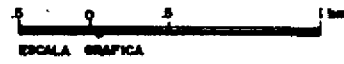
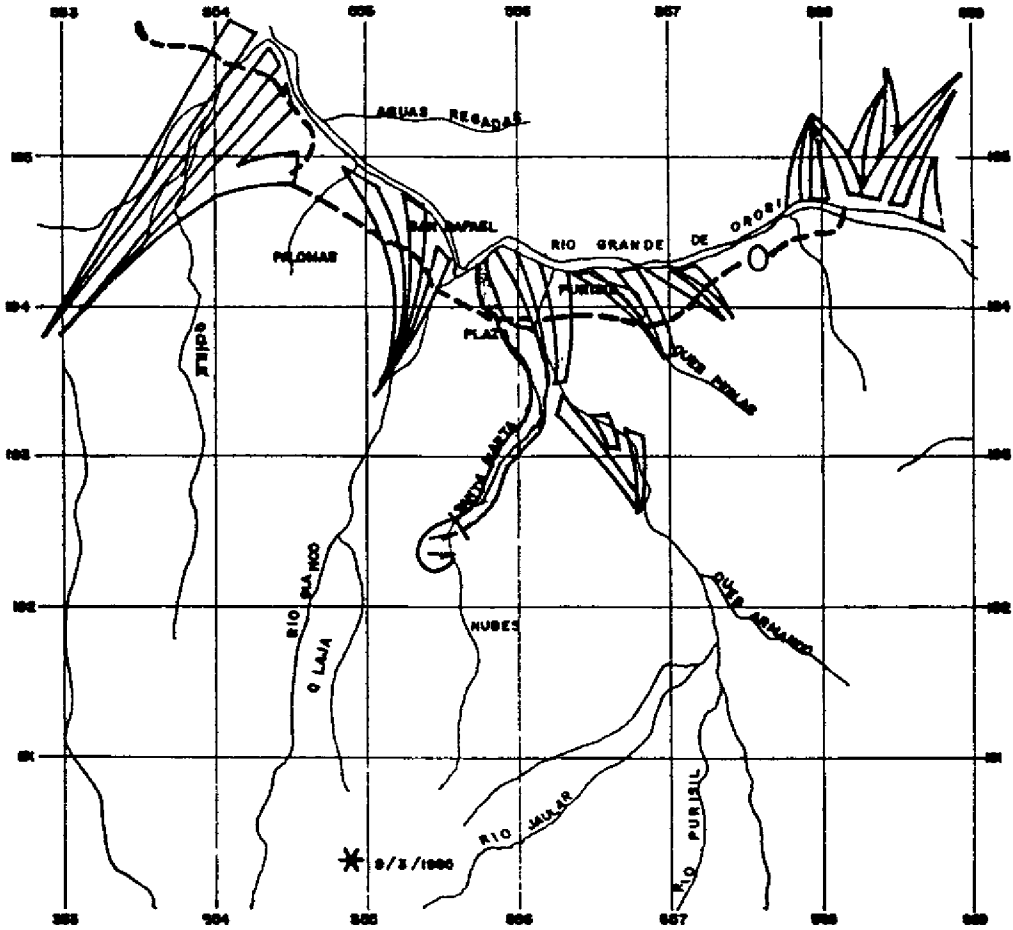


FIG. 6
 ESQUEMA DE DISTRIBUCION DE LOS PRINCIPALES EPICENTROS DEL SISMO Y REPLICAS DE LA DIVISION (JULIO-SEPTIEMBRE, 1985.) IGUALMENTE, SE MUESTRAN LAS ISOSISTAS (MMVII A IX) DEL EVENTO PRINCIPAL Y UNA ZONIFICACION "A GROSSO MODO" DE LA AREAS MAYORMENTE AFECTADAS POR DESLIZAMIENTOS. BASADO EN MORALES Y LEANDRO (1985), MORA Y RIVAS (1984) MORA, VALDES, CHAVEZ (1984).



SIMBOLOGIA

- DEBILIZAMIENTO Y SITIO DEL REPRESAMIENTO
- AREA DE INFLUENCIA DE LA AVALANCHA
- CONCHOS DE DEYECCION COLUVIO - ALUVIALES ANTIGUOS Y RECIENTES.
- EPICENTRO

FIG. 7. UBICACION DEL DESLIZAMIENTO Y AREA DE INFLUENCIA DE LA AVALANCHA DEL SISMO DE PURISIL (9/3/1985).