

EL TERREMOTO DE FRAIJANES DE 1888 Y EL SISTEMA DE FALLAS DE ALAJUELA, IMPLICACIONES DEL PELIGRO SISMICO POTENCIAL PARA EL VALLE CENTRAL OCCIDENTAL

*Luis Diego Morales**
*Walter Montero**
*Rodolfo Madrigal***

RESUMEN

El estudio geológico estructural y morfotectónico de la región al norte de la ciudad de Alajuela, muestra una serie de fallas, estructuras volcánicas y alineamientos que pueden ser correlacionados con el terremoto de 1888, o bien, ser nuevas fuentes sísmicas, siendo la falla de Alajuela la alternativa más viable para el origen del terremoto y una depresión 1.5 km al este de Fraijanes, la probable área epicentral.

Los datos obtenidos de los informes y periódicos de la época permiten estimar el patrón de distribución de las isosistas del terremoto del 30 de diciembre de 1888 y calcular junto con otros datos microsísmicos y a partir de relaciones empíricas, los parámetros sísmicos (profundidad, epicentro, magnitud, intensidad, aceleración).

* Escuela Centroamericana de Geología, Centro de Investigaciones Geofísicas y Red Sismológica Nacional (ICE-UCR). Universidad de Costa Rica.

** Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.

El terremoto de Fraijanes demostró hace casi un siglo ser muy destructivo, y hoy día con el aumento de población e infraestructura en la región, el grado de vulnerabilidad es mayor y por consiguiente aumenta el riesgo sísmico.

INTRODUCCION

La región de Fraijanes, localizada 15 km al norte de la ciudad de Alajuela en la cuenca superior del Río Poás, entre las faldas sur y oeste del Macizo Volcánico de Poás y del Barva, respectivamente, fue el escenario epicentral de la violenta sacudida generada por el terremoto de las 4 horas y 12 minutos de la madrugada del día 30 de diciembre de 1888, causando destrucción de viviendas, tumbando árboles, agrietando el terreno, desencadenando deslizamientos que destruyeron potreros y viviendas, obstruyendo caminos y represando los ríos, por los cuales descendieron posteriores avalanchas. La sacudida sísmica afectó los poblados vecinos de San Pedro de la Calabaza (hoy San Pedro de Poás), Sabanilla, Santa Bárbara y a las ciudades de Alajuela, Heredia y San José, causando en dichas poblaciones y ciudades cuantiosos daños por la destrucción de viviendas y edificios.

Fue este el primer terremoto en ser registrado por los sismógrafos instalados en ese mismo año en el recién fundado Observatorio Meteorológico Nacional, bajo la dirección del notable científico Dr. Henry Pittier (Morales, 1986), tan sólo un año después que fueron instalados los dos primeros observatorios sismográficos permanentes del «hemisferio occidental» en California (Bolt, 1987).

El desarrollo agropecuario de la región, con un fuerte impulso en cultivos de exportación no tradicionales, obras de infraestructura y líneas vitales como carreteras, acueductos o cañerías, tendido eléctrico y telefónico, con un notorio crecimiento de la población rural, en un entorno volcánico de suaves a fuertes pendientes, donde hace casi un siglo, la súbita liberación de energía en una fuente sísmica superficial, causó severos daños, justifican la necesidad de conocer y evaluar la amenaza sísmica de la región, para procurar minimizar el riesgo, ante la ocurrencia potencial de eventos futuros.

AMBIENTE GEOLOGICO

La región que se extiende al norte de la ciudad de Alajuela, está constituida por rocas volcánicas cuaternarias, entre las que destacan los flujos de lavas de tipo andesítico, rocas piroclásticas como tobas, brechas y capas de tefras, así como depósitos fluviovolcánicos como los «lahares» o avalanchas de lodo.

Geomorfológicamente la región es en general de topografía irregular con laderas de pendientes suaves a fuertes, resultado de los efectos erosivos y volcánicos, con materiales inestables en una región deforestada, donde los ríos erosionan fácilmente

y forman profundos barrancos, desarrollando un sistema de drenaje paralelo o subparalelo en general.

En el apartado siguiente se considerarán las características tectónicas de la región y su relación con la probable fuente sísmica responsable del terremoto.

ORIGEN DEL TERREMOTO

Determinar cuál fue la fuente sísmica y las características geométricas de la ruptura donde se originó el terremoto de Fraijanes, entra posiblemente en el campo especulativo, dado que la información macrosísmica relativa a este evento y las observaciones de campo realizadas para el mismo, no conducen a evidencias concretas de ruptura en una falla conocida. A lo anterior se agrega el aún escaso conocimiento que se tiene del fallamiento activo de esa región, ya sea a través de cartografiado geológico o de la actividad sísmica.

Considerando lo anterior, presentamos un resumen del conocimiento que se tiene acerca de la tectónica de la región del flanco sur de la Cordillera Volcánica Central, sector centro oeste, y a partir del mismo plantearemos cuáles podrían ser las alternativas más viables para el origen del terremoto de Fraijanes.

El escarpe de Alajuela con una altura de entre 100 y 150 metros que limita el borde sur de la Cordillera Volcánica Central en su sector centro oeste, ha sido considerado por diferentes autores como de origen tectónico (p.e. Schaufelberg, 1931), aunque otros orígenes también han sido planteados en la literatura. Recientemente Borgia y otros (1987) plantearon que el escarpe de Alajuela que se extiende por una longitud de 24.5 km (Fig. 1), considerando las sinuosidades, corresponde al flanco empinado delantero del pliegue asociado a una falla detachment de propagación, que ha sido originada por el colapso gravitacional del flanco sur de ese sector de la Cordillera Volcánica, inducido este último proceso por los esfuerzos generados por la presión magmática y los procesos de formación de calderas que se han presentado sobre el eje de la Cordillera, como ha ocurrido en el Volcán Poás. Estos procesos han tenido lugar posiblemente en los últimos 50.000 años. El modelaje del pliegue asociado a la falla, propone que el desplazamiento en la falla debe ser entre 100 y 150 m. y que la profundidad de la falla debe estar entre 600 y 700 m. bajo el nivel del terreno. Alvarado y otros (en prensa) consideran esta falla como una de las posibles fuentes que originó el terremoto de Fraijanes.

Los alineamientos de conos volcánicos de rumbo NS de la Cordillera Volcánica Central han sido reconocidos por diferentes autores (p.e. Thorpe, 1984; Alvarado y otros, 1986; Montero y Morales, en prensa), son resultados de la inyección del magma a través de fracturas relativamente profundas. En la región de interés, el alineamiento de focos eruptivos Sabana Redonda-Laguna Votos-el cráter activo del Poás-Caldera Von Frantzius-Volcán Congo-Laguna Bosque Alegre-Laguna Río Cuarto, se extiende

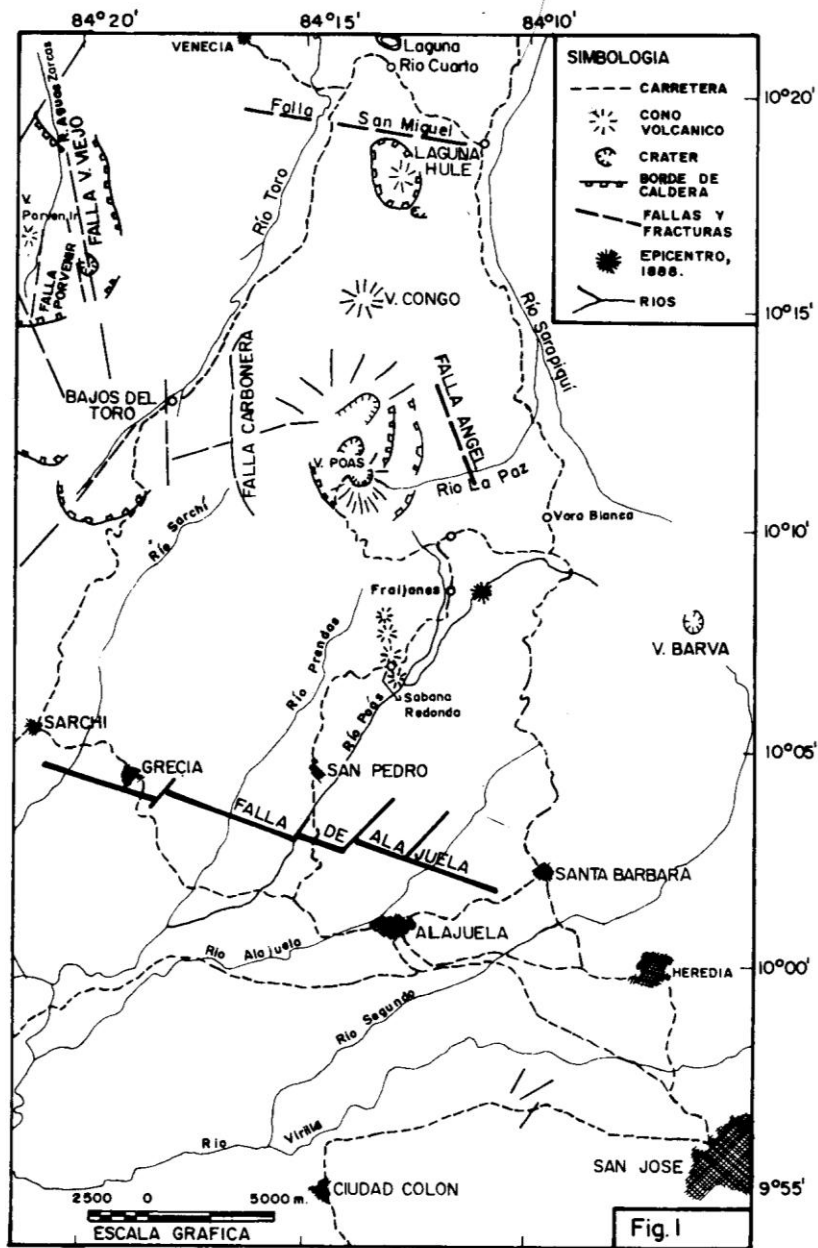


Figura 1

Características geomorfotectónicas al norte de la ciudad de Alajuela (adaptado de Alvarado y otros (en prensa). Relevante es el sistema de fallas de Alajuela, la falla Angel y Carbonera, que son las fallas conocidas más próximas al propuesto epicentro del terremoto de Fraijanes de 1888, que también se observa en la figura. Se destaca también el alineamiento de conos y estructuras volcánicas de rumbo N S, que se extienden desde Sabana Redonda hasta Río Cuarto. Nótese la distribución de las ciudades en y cerca del pliegue frontal de la falla de Alajuela cuya traza superficial se muestra en la figura.

por una longitud de 24 km, alineándose estas ventanas eruptivas dentro de una región de un ancho de 45 km y con un rumbo N O E (Fig. 1). De acuerdo a Montero y Morales (en prensa) la zona de fractura que controla estas estructuras volcánicas, tienen orientación paralela al esfuerzo compresivo horizontal máximo (o máx.), por lo que su origen probable sería tensional. Aunque esfuerzos de cizalle actuando en esta probable zona de fractura no se pueden descartar, máxime si existen fluctuaciones en las direcciones del campo de esfuerzos, esta zona de debilidad no parece la fuente más viable para explicar el origen del terremoto de Fraijanes.

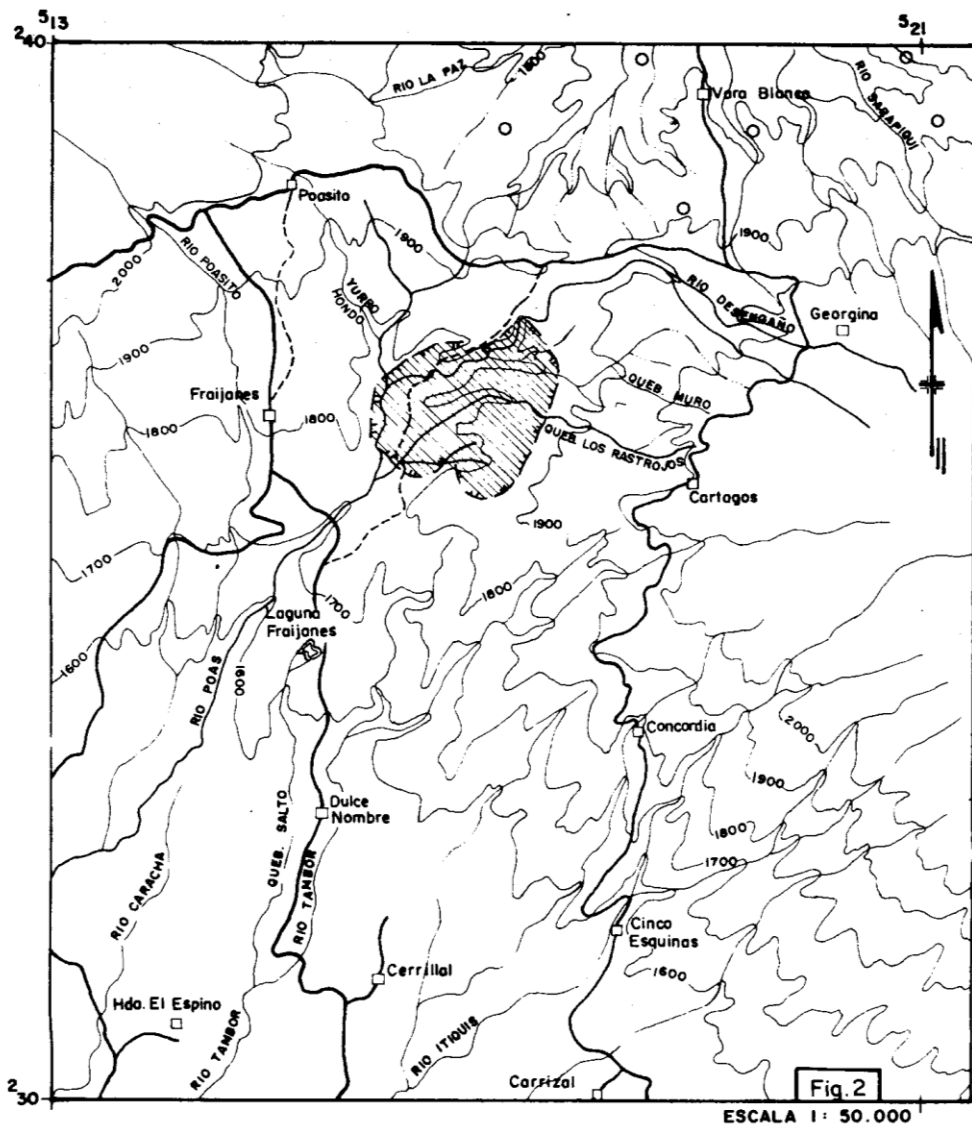
De acuerdo a la orientación N O E de o máx., que ha sido deducida de diferentes familias de datos (Montero y Morales, en prensa), existen otras fuentes sísmicas probables donde pudo originarse el terremoto de Fraijanes. Algunas de ellas parecen expresarse con fallas de desplazamiento de rumbo, caso de la falla dextral de rumbo NW que se ubica hacia el borde occidental del Volcán Poás, falla Carbonera (Alvarado y otros, en prensa), o ser sugeridos a partir de mecanismos focales compuestos de enjambres de temblores que se han presentado dentro o cerca de la región de interés (Alvarado y otros, en prensa; Montero y Dewey, 1982). Variaciones en la orientación de o máx., lo sugiere la tectónica compleja que presenta el borde occidental de la cordillera y algunos mecanismos focales determinados (Alvarado y otros, en prensa), incluyendo el borde oriental del Volcán Poás, donde destaca la falla Angel (Nº 30 W), cerca de Vara Blanca (Fig. 1).

Consideramos que de acuerdo con las fuentes tectónicas previamente analizadas, la más probable fuente donde se pudo originar el terremoto de Fraijanes es la falla de Alajuela, en concordancia con Alvarado y otros (en prensa). Lo anterior debido a que la misma es una fuente capaz de generar un evento del tamaño del ocurrido en 1888. La distribución de intensidades es consistente con un movimiento en una falla de tipo detachment tal como ha sido sugerida por Borgia y otros (1987), finalmente, esfuerzos de tracción inducidos por esta falla podrían explicar la generación de deslizamientos en la parte alta cerca del eje de la Cordillera Volcánica Central, sector centro oeste.

Una consideración geomorfológica relevante es el marcado alineamiento (NE) que presenta el cauce principal del Río Poás, el cual en su cuenca superior se continúa por afluentes que drenan en dirección aproximada al NW, como son el Río Desengaño y las quebradas Muro y Los Rastrojos. Este cambio radical en la orientación de los cauces se da justamente en una zona geomorfológica donde se encuentra una depresión (Fig. 2) identificada en fotografías aéreas y con control de campo, que se postula aquí con el área epicentral del terremoto de Fraijanes, en coincidencia también, con la zona más afectada por el terremoto según el informe de Pittier (1889) y Michaud (1911). Las orientaciones de los ríos podrían corresponder con un control estructural, pero no ha sido posible encontrar evidencias de fallas geológicas en dicha zona.

CARACTERISTICAS DEL TERREMOTO Y SUS EFECTOS

La sismicidad en la región comprendida entre la ciudad de Alajuela y el macizo



SIMBOLOGIA

◼ Depresión: Propuesta área epicentral del terremoto de Fraijanes, 1888.

○ Epicentros: Temblores de Vara Blanca, 1982.

◻ Poblaciones

Figura 2

Muestra la depresión geomorfológica, identificada a partir de fotografías aéreas y con control de campo, en la parte alta de la cuenca del Río Poás. Dicha depresión se propone como el área epicentral del terremoto de 1888. Se muestran también las curvas de nivel cada 100 metros, desde los 1.600 metros hasta los 2.000 m, para indicar el relieve de la zona mesosísmica. Se observan también, los epicentros de los temblores de Vara Blanca que en febrero de 1982 fueron sentidos en la zona. Relevante es la orientación (NW aproximadamente) de las quebradas los Rastros, Muro y Río Desengaño, respecto de la orientación NE del cauce principal del Río Poás, en las cercanías y dentro de la propuesta área epicentral.

Volcánico del Poás, se ha mantenido con un nivel de actividad muy bajo, aun a nivel de microtemblores (M3). Durante los últimos quince años de observación instrumental, se han registrado dos enjambres de microtemblores, uno en la cima del Poás a finales de julio de 1980 (Casertano y otros, 1985) y otro en Vara Blanca (Fig. 2) del 5 al 11 de febrero de 1982 (Morales y Montero, 1984), varios de los cuales fueron sentidos en las poblaciones de Fraijanes, Poasito, Desengaño y Vara Blanca, con una intensidad máxima de IV (Mercalli modificada) y una magnitud (Richter) entre 1,2 y 3,3, con foco superficial (h. 5 km). Alvarado y otros (en prensa), proponen que dichos temblores podrían estar asociados con la Falla Angel (Fig. 1). Analizando la sismicidad histórica de esa región, con excepción del terremoto de Fraijanes de 1888, sólo aparece otro evento (28-03-1851) de características similares, pero que causó menor destrucción y que Morales (1985) ha asociado con la fuente sísmica de Fraijanes. Por lo tanto ha transcurrido casi un siglo, y no se ha vuelto a generar un temblor fuerte en esta región, que aún hoy día mantiene un nivel de actividad sísmica muy bajo.

Una característica notoria de la actividad sísmica asociada con el terremoto de Fraijanes es la secuencia de: precursores-temblor principal-réplicas; la cual ha sido observada también para los terremotos de Sarchí-Bajos del Toro (Alvarado y otros, en prensa), lo cual parece estar relacionado con la heterogeneidad de los materiales volcánicos y en donde la distribución espacial de los esfuerzos aplicados no son uniformes (Mogi, 1966) o bien la zona está muy fracturada.

Por lo tanto, el tipo de secuencia presentado, puede ser usado como criterio para prever la ocurrencia de un evento mayor en el futuro, pues la actividad está precedida por varios días de actividad sísmica con eventos pequeños a moderados, pasándose luego al temblor principal acompañado de un fuerte evento precursor, y posteriormente las réplicas que se continúan por varios meses hasta disminuir considerablemente en número y tamaño. Sin embargo, debe recordarse que los enjambres de 1980 en el Poás y de 1982 en Vara Blanca, no generaron ningún evento mayor, por lo que hay que ser muy cautos con este tipo de secuencia.

La violenta sacudida sísmica causó los mayores estragos en una zona comprendida entre el Desengaño, Río La Paz, Fraijanes, encontrándose todas las filas resquebrajadas, muchos árboles tumbados, derrumbes muy frecuentes y en Fraijanes casi no hay un casa que haya resistido (Pittier, 1889). Los deslizamientos desencadenados por el terremoto y sus efectos, han sido discutidos por Mora y Morales (en esta memoria). Los daños se extendieron por las poblaciones vecinas como San Pedro de la Calabaza (hoy San Pedro de Poás), Sabanilla y Santa Bárbara, causando destrucción parcial en viviendas y edificios de las ciudades de Alajuela, Heredia y San José. Sufrieron daños las iglesias, catedrales de Alajuela y San José, la de Santa Bárbara, San Rafael de Heredia y la de Alajuelita. En la tabla N° 1, se presenta un resumen con la distribución de la intensidad (MM: Mercalli Modificada) de la sacudida y de las poblaciones afectadas, y en la tabla N° 2 se encuentra un resumen de los daños causados y de las pérdidas en colones de la época, hace ya un siglo.

TABLA N° 1
PARAMETROS SISMICOS DEL TERREMOTO DE FRAIJANES
(30-12-1888)
(Completada a partir de Morales y otros (1986))

<i>Fecha</i>	<i>Tiempo local</i>	<i>Lat. N</i>	<i>Long. W</i>	<i>Prof. (km)</i>	<i>Intensidad máxima</i>	<i>Magn. local</i>	<i>Rango de aceleración</i>
30121888	04:12	10°8.8'	84°10.8'	12.5	VIII-IX (MM)	5.8	30-50% g

Rango de variación de la aceleración a partir de Sauter (1979) y Bolt 1978).

ML = $1,85 + 0,49 I_0$ (Topozada, 1975), $I_0 = VIII$
 ML = Magnitud local; I_0 = Máxima intensidad
 $I_0 - 1,5 = 6 \log \frac{r}{h}$ (Gutenberg y Richter, 1942), $r = 150$
 km; $I_0 = VIII$
 r = Radio de percepción; h = profundidad focal

El Dr. Gustavo Michaud (1912), postuló una hipótesis basado en la distribución geográfica de la intensidad del terremoto, que ubicaba su epicentro en un punto situado en la región que comprende Fraijanes y la laguna. Utilizando el mismo criterio y las referencias de Pittier (1889), más la interpretación fotogeológica, nosotros hemos encontrado una depresión (Fig. 2), 1.5 km, al este de Fraijanes, con una extensión aproximada de 2 km, en la cuenca alta del Río Poás, coincidiendo con el cambio de dirección NE del cauce principal del Poás a NW en sus afluentes, quebradas Los Rastrojos y Muro. Esta depresión, según nuestra hipótesis, corresponde con el área epicentral del terremoto de Fraijanes de 1888, cuyos parámetros focales y otros complementarios se dan en la tabla N° 3.

Los parámetros sísmicos de la tabla N° 3, muestran una buena correlación con los obtenidos por Alvarado y otros para este mismo evento, utilizando diferentes relaciones empíricas para el cálculo de la magnitud y de la profundidad focal.

El patrón de isosistas de la Fig. 3, muestra una clara tendencia que se orienta hacia el sur de Fraijanes, en correspondencia con un probable movimiento inverso de bajo ángulo en la propuesta falla de Alajuela, lo cual afecta notoriamente a las ciudades que se ubican al sur de ella. En el recuadro de la misma figura se muestra un gráfico que representa la atenuación de la intensidad (MM) con la distancia, observándose que hasta una distancia aproximada de 30 km con rumbo SE desde la fuente sísmica de Fraijanes, se produjeron daños significativos por la sacudida sísmica.

La naturaleza superficial del foco sísmico ($h=12.5$ km) del terremoto de Fraijanes, es una característica que favorece la concentración de la energía sísmica en un área limitada, generando sacudidas del terreno muy violentas y aceleraciones anormalmente altas, como fue el caso del terremoto de San Fernando y de Bear Valley

TABLA N° 2*
DISTRIBUCION DE LA INTENSIDAD DE LA SACUDIDA SISMICA

<i>Intensidades (mm) y observaciones</i>	<i>Poblaciones o ciudades</i>
III. Sentido débil	Carrillo, Bagaces, Cañas, Puntarenas, Puerto Viejo, Sta. M ^a de Dota, Limón.
IV. Sentido casi por todos, vibración de puertas y ventanas.	Cartago.
V. El frente de la Iglesia de Cot se desplomó. Caída objetos, fracturas o grietas en los repellos, daños menores.	Cot-Cartago.
VI. Muchas personas asustadas, muebles desplazados. Destruc. en muchas viviendas de adobe y algunos edificios incluyendo Iglesia Catedral. San José.	Grecia, Bajos del Toro Amarillo, San José, Guadalupe, San Vicente.
VII. Daños considerables, viviendas y algunos edificios destruidos, incluyendo daños severos a Catedral de Alajuela e Igles. de otras poblac., derrumbes,	Alajuela, Vara Blanca, El Desengaño, San Pedro de Poás, Heredia, Sta. Bárbara, Barva, San Rafael.
VIII: Daños severos, casi no hay una casa que haya resistido; deslizamientos, grietas, árboles tum-bados, sacudida violenta.	Fraijanes.

* Datos obtenidos con base en los informes de Pittier (1889), Céspedes (1889), Michaud (1911), González (1910), L'illustration-23 fevrier 1889, Valverde (1984).

(Brune, 1976), a pesar de que fueron eventos de magnitud moderada, como fue el caso de Fraijanes ($M=5.8$). Sin embargo, las aceleraciones pico en la zona epicentral están asociadas con ondas sísmicas de relativamente alta frecuencia (3-10Hz), que se atenúan rápidamente con la distancia y donde el factor topográfico va a jugar un papel relevante en la amplificación o atenuación de la energía sísmica (Brune, 1976). Por lo tanto, los parámetros focales y el mecanismo de ruptura, junto con las características geofísicas del medio y la topografía de la región, van a determinar los efectos sobre el terreno, la violencia de la sacudida y la capacidad destructiva del terremoto, a pesar de su magnitud moderada ($M=6.5$) como ha sido el caso de la mayoría de los temblores destructivos en Costa Rica y Centroamérica (Carr y Stoiber, 1977; Morales, 1985; Montero, 1986). En la tabla N° 3 se ha estimado un rango de variación de la aceleración

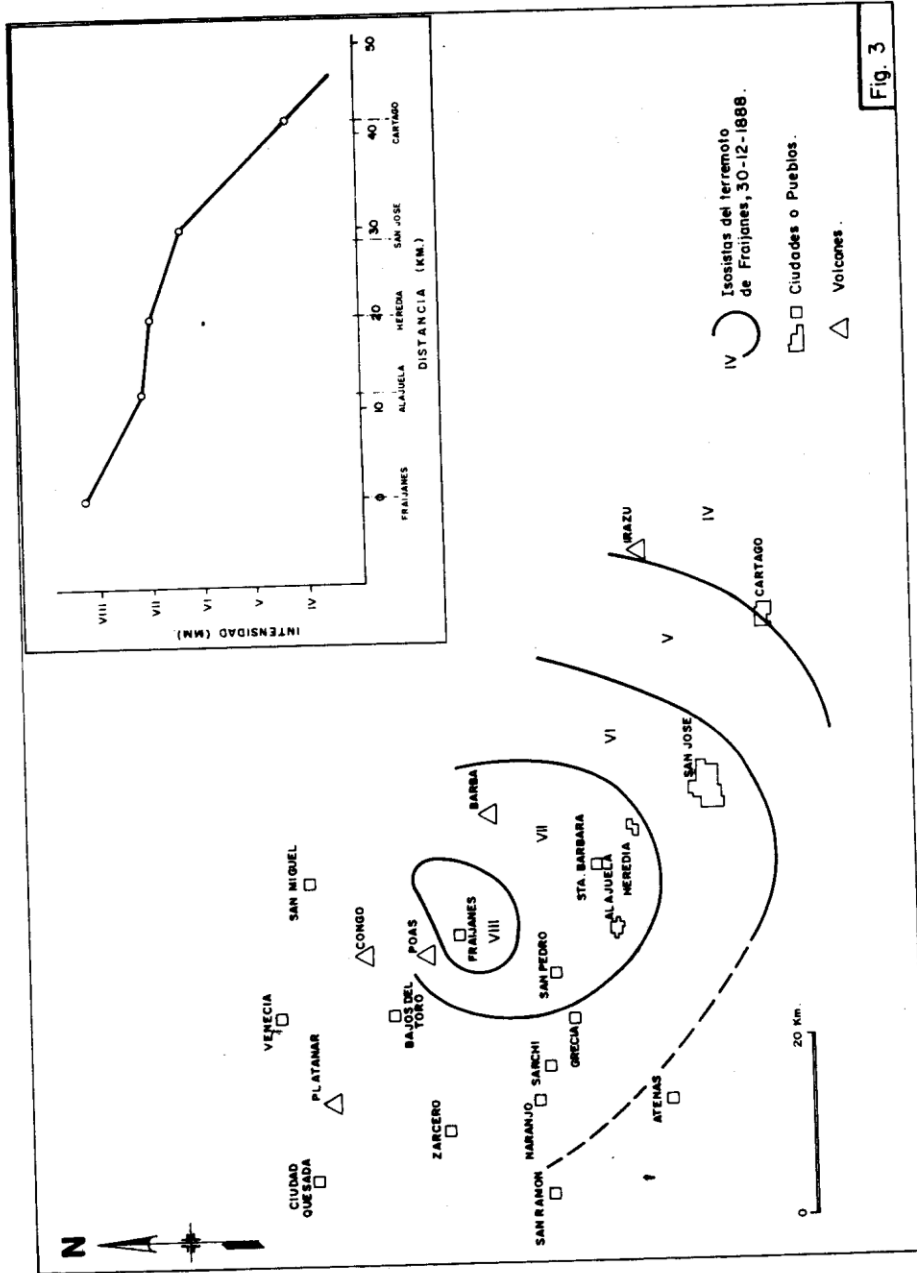


Fig. 3

Figura 3
Distribución de las curvas isosistas para el terremoto de 1888 cerca de Fraijanes (según tablas N^o 1 y 2). En el recuadro se indica la variación de la Intensidad (MM: Mercalli Modificada), con la distancia en km, con un rumbo aproximado al SE entre la fuente sísmica de Fraijanes y la ciudad de San José, incluyendo hasta Cartago. El patrón de isosistas refleja en parte cómo el patrón de radiación de la energía sísmica se orienta hacia el Valle Central.

para la zona epicentral del terremoto de Fraijanes (30 al 50% g), de acuerdo con el rango de variación propuesto por Sauter (1979) y a las características de la fuente sísmica y del medio discutidas anteriormente. Relevante es el hecho de que el nuevo Código Sísmico de Costa Rica, 1986 (CFIA, 1987), no considera la «singularidad» que representan las diferentes fuentes sísmicas destructivas en el pasado (últimos 150 años), aun cuando las aceleraciones máximas generadas, calculadas en función de la intensidad máxima, exceden los valores de isoaceleración propuestos para un período de retorno de 500 años.

CONCLUSIONES

- El terremoto del 30 de diciembre de 1888 (M=5.8) corresponde con una fuente sísmica superficial (h=12.5 km) que se pone en evidencia por su área epicentral en correspondencia con una depresión geomorfológica de apariencia circular situada 1.5 km al este de la población de Fraijanes, y con una extensión aproximada a los 2 km² (Fig. 2).
- La fuente tectónica más probable donde se pudo originar el terremoto de Fraijanes es la falla de Alajuela (Fig. 1), la cual por sus dimensiones y características es una fuente capaz de generar un evento del tamaño del ocurrido en 1888 (tabla N° 3).

TABLA N° 3
DAÑOS CAUSADOS POR EL TERREMOTO (30-12-1888)*

	<i>San José</i>	<i>Heredia</i>	<i>Alajuela</i>	<i>Totales</i>
a. Casas particulares				
— Caídas	36	85	79	200
— Inutilizadas	732	391	92	1.215
— Necesitan reparac.	832	1.164	197	2.193
b. Edificios públicos				
— Caída	0	0	1	1
— Inutilizados	6	4	1	11
— Necesitan reparac.	5	22	12	39
c. Muertos				
	0	0	6	6
d. Valor aproximado de pérdidas materiales				
	1.639.035	154.880	160.700	1.954.615

* Datos obtenidos de González (1910).

- La distribución de intensidades (Fig. 3) es consistente con un movimiento en una falla tipo «detachment» tal como ha sido sugerido por Borgia y otros (1987), para la falla de Alajuela; enfocándose el patrón de radiación de la energía desde Fraijanes y el flanco frontal de la falla, hacia las poblaciones y ciudades ubicadas al sur.
- La naturaleza superficial del foco sísmico, las dimensiones y el tipo de movimiento durante el desplazamiento de la falla, son capaces de generar una violenta sacudida con intensidades máximas (MM) de VIII a IX grados, lo cual puede corresponder con aceleraciones de hasta el 50% de la gravedad en la zona epicentral. Aunque la energía sísmica se atenúa con la distancia, la fuerza de la sacudida puede causar daños moderados a distancias de hasta 30 km, lo cual incluye a las ciudades y poblaciones de Alajuela, Heredia y San José.
- Como consecuencia de la sacudida del terreno tenemos, destrucción de viviendas, árboles tumbados y ruptura del suelo que en las áreas de fuerte pendiente o de taludes pronunciados, van a dar lugar a deslizamientos o derrumbes, que pueden represar ríos y originar posteriormente avalanchas de lodo (Ríos Poás, Tambor y La Paz) aumentando los efectos destructivos del temblor, con la posible interrupción de caminos y carreteras, y su impacto en las líneas vitales como ha sido descrito por Mora y Morales (1986), Mora y Morales (en esta memoria).
- La fuente sísmica de Fraijanes demostró, hace casi un siglo, ser muy destructiva, (tabla N° 3), y hoy día con el aumento de población e infraestructura en la región, el grado de vulnerabilidad es mayor y por consiguiente el riesgo sísmico por la ocurrencia de un nuevo terremoto, del cual no es posible conocer su período de recurrencia, aunque podemos estimar su tamaño y prever sus posibles efectos.

RECONOCIMIENTO

Al Dr. Rodrigo Gámez Lobo por su interés y gentileza al cedernos los recortes del periódico L'illustration, sobre el terremoto de 1888.

El presente trabajo se ha visto favorecido por la contribución o colaboración del proyecto MIRVYS, Comisión Nacional de Emergencia y el proyecto V.I. 113-86-051 de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarado, G., Morales, L. D., Montero, W., Climent, A. y Rojas, W. (en prensa): **ASPECTOS SISMOLOGICOS Y MORFOTECTONICOS EN EL EXTREMO OCCIDENTAL DE LA CORDILLERA VOLCANICA CENTRAL DE COSTA RICA**. Rev. Geol. Am. Central, San José.
- Bolt, B. A., 1978: **EARTHQUAKES, A Primer**, 241 págs. Freeman, San Francisco.
- Bolt, B.A., 1987: **ONE HUNDRED YEARS OF EARTHQUAKES RECORDING IN AMERICA**. Earthquake Spectra V. 3, Nº 4, 641-644, El Cerrito, California.
- Borgia, A., Burr, J., Montero, W., Morales, L. D., Alvarado, G., 1987: **IS THE CENTRAL COSTA RICA VOLCANIC RANGE EXTENDING?** EOS, V. 68, Nº 16, p. 406, Washington.
- Brune, J. N., 1976: **THE PHYSICS OF EARTHQUAKE STRONG MOTION**. (In Seismic risk and engineering decisions, 425 pp. Lomnitz, C. and Rosenblueth, E. Editores) 141-177. Elsevier, Amsterdam.
- Carr, M. y Stoiber, R., 1977: **GEOLOGIC SETTING OF SOME DESTRUCTIVE EARTHQUAKES EN CENTRAL AMERICA**. Geolog. Soc. Am. Bull, 88, 151-156, Boulder.
- Casertano, L., Borgia, A., Cigolini, C., Morales, L. D., Montero, W., Gómez, M. y Fernández, J. F., 1985: **INVESTIGACIONES GEOFISICAS Y CARACTERISTICAS GEOQUIMICAS DE LAS AGUAS HIDROTHERMALES: VOLCAN POAS, COSTA RICA**, Geofís. Intern., 24-2, 315-332, México.
- Céspedes, J. D., 1889: **INFORME SOBRE EL TERREMOTO DE 1888**. (En González, 1910): **TEMBLORES, TERREMOTOS, INUNDACIONES Y ERUPCIONES VOLCANICAS EN COSTA RICA, 1608-1910**. 200 pp. Tipografía de Avelino Alsina), 59-62, San José.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, Gutiérrez, J., 1987: **CODIGO SISMICO DE COSTA RICA**. 104 pp. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- González, C., 1910: **TEMBLORES, TERREMOTOS, INUNDACIONES Y ERUPCIONES VOLCANICAS EN COSTA RICA, 1608-1910**. 200 pp. Tipografía de Avelino Alsina, San José.
- Gutenberg, B. y Richter, C. F., 1942: **EARTHQUAKE MAGNITUDE, INTENSITY, ENERGY AND ACCELERATION**, BULL. Seism. Soc. Am., V. 32, 163-191, Baltimore.
- L Illustration-23 Fevrier 1889: **LE TREMBLEMENT DE TERRE DE COSTA RICA** (1 columnay 8 fotografías), Bélgica.
- Michaud, G., 1912: **NOTA SOBRE EL EPICENTRO DEL TERREMOTO DEL 30 DE DICIEMBRE DE 1888**. (En Anales del Centro de Estudios Sismológicos de Costa Rica. 66 pp. Tipografía Nacional), 9-15, San José.
- Mogi, K., 1967: **EARTHQUAKES AND FRACTURS**. Tectonophysics, V. 5. 1, 35-55, Amsterdam.
- Montero, W. y Dewey, J., 1982: **SHALLOW-FOCUS SEISMICITY, COMPOSITE FOCAL MECHANISM, AND TECTONICS OF THE VALLE CENTRAL**, Costa Rica. Bull seism. Soc. Am., 71, 1.611-1.626, Baltimore.

- Montero, W., 1986: **PERIODOS DE RECURRENCIA Y TIPOS DE SECUENCIAS SISMICAS DE LOS TEMBLORES INTERPLACA E INTRAPLACA EN LA REGION DE COSTA RICA.** Rev. Geol. Amer. Central 5: 35-72, San José.
- Montero, W. y Morales, L. D. (en prensa): **DEFORMACION Y ESFUERZO NEOTECTONICOS EN COSTA RICA.** (In Geology of an evolving Island Arc: The Isthmus of southern Nicaragua, Costa Rica, and western Panamá) Universitat Mainz.
- Mora, S. y Morales, L. D., 1986: **LOS SISMOS COMO FUENTE GENERADORA DE DESLIZAMIENTOS Y SU INFLUENCIA SOBRE LA INFRAESTRUCTURA Y LINEAS VITALES DE COSTA RICA.** Memoria, 4o. Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmo-resistente, 201-214, San José.
- Mora, R. y Morales, L. D. (en esta memoria). **LA SUSCEPTIBILIDAD A LA INESTABILIDAD DE LADERAS EN LA ZONA NORTE DE ALAJUELA Y EL TERREMOTO DE FRAIJANES DE 1888. EFECTOS Y PREVISION.** I Seminario Nacional de Desastres, Heredia.
- Morales, L. D. y Montero, W., 1984: **LOS TEMBLORES SENTIDOS EN COSTA RICA DURANTE 1973-1983, Y SU RELACION CON LA SISMICIDAD DEL PAIS.** Rev. Geol. Am. Cent., 1: 29-56, San José.
- Morales, L. D., 1985: **LAS ZONAS SISMICAS DE COSTA RICA Y ALREDEDORES.** Rev. Geol. Am. Cent., 3: 69-101, San José.
- Morales, L. D., 1986: **HISTORIA DE LA SISMOLOGIA EN COSTA RICA.** Rev. Fil. Univ. Costa Rica, XXIV (59), 93-104, San José.
- Morales, L. D., Alvarado, G., Montero, W. y Climent, A., 1986: **RECURRENCIA DE TEMBLORES Y EVALUACION DEL PELIGRO SISMICO DEL NOROESTE DEL VALLE CENTRAL, COSTA RICA.** Memoria, 4o. Seminario Latinoamericano Ingeniería Sísmo-resistente, 215-225, San José.
- Pittier, H., 1889: **INFORME SOBRE LOS FENOMENOS SISMICOS Y VOLCANICOS OCURRIDOS EN LA MESETA CENTRAL EN DICIEMBRE DE 1888.** (En González (1910). Temblores, terremotos, inundaciones y erupciones volcánicas en Costa Rica, 1608-1910. 200 pp. Tipografía Avelino Alsina), 62-67, San José.
- Sauter, F., 1979: **DAMAGE PREDICTION FOR EARTHQUAKE INSURANCE, II U.S. CONFERENCE EARTHQUAKE ENGINEERING, STANFORD, CALIFORNIA.**
- Schaufelber, P., 1931: **APUNTES DE GEOLOGIA 4,** Imprenta Universal, 83 pp., San José.
- Thorpe, R., 1984: **TECTONIC SEGMENTATION OF THE COSTA RICA VOLCANIC RANGE,** 12 pp. (inédito).
- Topozada, T. R., 1975: **EARTHQUAKE MAGNITUDE AS A FUNCTION OF INTENSITY DATA IN CALIFORNIA AND WESTERN NEVADA,** Bull. Seism. Soc. Am., V. 65, 1.223-1.238, Baltimore.
- Valverde, A. C., 1984: **EL PELIGRO GEOLOGICO ASOCIADO CON TERREMOTOS EN LA ZONA SUR Y SURESTE DEL VOLCAN POAS.** Informe inédito, Escuela Centroamericana de Geología, UCR, 25 pp., San José.