

**LOS TERREMOTOS DE BAGACES DE 1935 Y 1941:  
NEOTECTONISMO TRANSVERSAL A LA CORDILLERA VOLCANICA  
DEL GUANACASTE, COSTA RICA**

*Walter Montero Pohly\**  
*Guillermo E. Alvarado\*\**

**ABSTRACT**

On August 1, 1935 and on December 6, 1941 occurred two shallow intraplate intermediate magnitude ( $5.5 \leq M \leq 6.5$ ) earthquakes in northwestern Costa Rica. They caused damage specially to the town of Bagaces, with intensities MM VII and VIII respectively. The location of the meizoseismal area and of the morphotectonic trends suggest that the seismogenic source is a predominant NNE complex of faults which are part of the austral tip of the N-S graben of La Fortuna-Peje, a structure transverse to the Cordillera Volcánica of Guanacaste. Another possible source of the earthquakes epicenter is the Bagaces fault that extends more than 40 km to the W of the town of Bagaces.

A relation of spatial attenuation of intensities has been obtained for NW and SE directions from epicenter of the 1935 earthquake.

$$I = 8.90 - 2.42 \log \Delta$$

Where  $I$  is the Modified Mercalli intensity and  $\Delta$  is the epicentral distance in kilometers.

The isoseismal maps and other macroseismic information in conjunction with neotectonic data, allow an estimation of the focal parameters for both events (depth and epicenter) and for 1935 earthquake also allow an estimation of its magnitude.

**RESUMEN**

El 1 de agosto de 1935 y el 6 de diciembre de 1941 ocurrieron dos terremotos intraplaca, superficiales, de magnitud intermedia ( $5.5 \leq M \leq 6.5$ ) que afectaron principalmente la población de Bagaces con intensidades MM de VII y VIII respectivamente. La ubicación del área mesosísmica, junto con los rasgos morfotectónicos parecen sugerir que la fuente sísmogénica está en un complejo de fallas con rumbo predominante NNE que forman parte del extremo austral del graben N-S de la Fortuna-Peje, o de la falla Bagaces que se extiende por más de 40 km al W de la población de Bagaces.

Una relación de atenuación espacial de intensidades se obtiene en las direcciones NW y SW del epicentro del terremoto del 1 de agosto de 1935:

$$I = 8.90 - 2.42 \log \Delta$$

donde  $I$  es la intensidad Mercalli Modificada y  $\Delta$  es la distancia epicentral en kilómetros.

Los mapas de isosistas y otros datos macrosísmicos, además de los datos neotectónicos, permiten estimar los parámetros focales de ambos eventos (profundidad y epicentro) y para el temblor de 1935 además su magnitud.

\* Escuela Centroamericana de Geología,  
Centro de Investigaciones Geofísicas, Red Sismológica  
Nacional (ICE-UCR)  
Apartado 35  
Universidad de Costa Rica (UCR)

\*\* Departamento de Geología  
Red Sismológica Nacional (ICE-UCR)  
Apartado 10032  
Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)

## INTRODUCCION

Los terremotos que ocurren a lo largo de la Cordillera Volcánica Centroamericana han sido tradicionalmente los más dañinos, tanto en pérdidas materiales como humanas. Así lo demuestran los diferentes trabajos como son los de Carr y Stoiber (1977), Carr (1976), Dewey y Algemissen (1974) y White y Harlow (1985). Una situación similar se presenta en Costa Rica donde los eventos que han afectado en mayor proporción a las poblaciones han sido los temblores generados dentro o en las cercanías del arco interno, especialmente en su sector volcánico. (Véase por ejemplo Montero y Miyamura, 1981; Montero, 1983; Montero y Dewey, 1982 y Morales, 1985).

Los terremotos de Bagaces del 1 de agosto de 1935 (10:08' hora local, 16.08' GMT), epicentro en lat. 10.5° N y long. 85.5°W (International Seismological Summary, ISS), y el de diciembre de 1941 (19:25' hora local, día 5 de diciembre, 01:25' GMT), epicentro en lat. 10.5°N y long. 85 25°W, con magnitud  $M = 6$  (Gutenberg y Richter, 1954) pertenecen a esta categoría de temblores superficiales, de magnitudes intermedias y altamente destructivos dentro de áreas pequeñas, que periódicamente afectan la región del arco interno o sus cercanías. Montero (1986) en un recuento de terremotos históricos de la región de Bagaces, no encuentra evidencia de la ocurrencia de eventos intraplaca anteriores al evento de 1955, con hipocentro en las cercanías de esta población que hubieran causado daño en el poblado de Bagaces, desde su fundación por los españoles en el siglo XVIII. Esta circunstancia no permite estimar el período de recurrencia de los temblores superficiales de esta región

El temblor intraplaca, del 6 de diciembre de 1941, es la primera vez que se menciona entre los eventos dañinos que han afectado a Costa Rica en una investigación de carácter sismológico. Así por ejemplo, Miyamura (1980) no hace referencia a daños ocasionados por este temblor de acuerdo con su investigación de titulares de periódicos, y ni Morales (1985) o Montero (1986) lo incluyen entre los temblores intraplaca que han afectado a Costa Rica durante este siglo.

Estudios geomorfológicos y fotogeológicos realizados por el ICE-ELC (1948), Alvarado et al. (1986) y por el ICE-ENEL (1988), parecen sugerir que la actividad tectónica durante el Cuaternario Superior ha sido bastante importante en la región entre la caldera de Miravalles y la población

de Bagaces. Esto lo confirman los estudios de campo que han realizado los autores.

El objetivo de este trabajo consiste en una presentación de los datos de intensidades que han sido recopilados para ambos terremotos y su interpretación, lo cual luego permite estimar los parámetros focales macrosísmicos. Finalmente, con base en diferentes evidencias geológicas y la revisión bibliográfica existente, se plantea modelos tectónicos alternativos para el origen de los terremotos de Bagaces de 1935 y de 1941.

## MARCO TECTONICO REGIONAL

En el borde pacífico de Costa Rica, a lo largo de la Fosa Mesoamericana, se inicia la convergencia de las placas del Coco y del Caribe, donde se originan los temblores de mayor magnitud del país. En el interior del territorio se tiene una estructura de rumbo paralelo, que corresponde con el arco montañoso, el cual en el sector noroeste de Costa Rica define a la Cordillera Volcánica Cuaternaria de Guanacaste (figura 1). Esta cadena está constituida por varios estrato-volcanes complejos (Orosi-Cacao, Rincón de la Vieja-Santa María, Miravalles-Paleo Miravalles, Tenorio-Montezuma) Morfotectónicamente contrasta por sus estructuras recientes y rasgos juveniles con las antiguas y desgastadas serranías del Jurásico-terciario de la Península de Nicoya que se localizan al suroeste.

En la Vertiente Pacífica de la Cordillera de Guanacaste, incluyendo las plataformas ignimbríticas, prevalecen las fallas N-S, NNW-SSE, NW-SE, NE-SW y menos frecuentes las fallas E-W, siendo algunas de traza curvilínea en asocio con colapsos volcano-tectónicos. Los focos eruptivos están controlados por varios de estos desgarres corticales profundos. Las plataformas ignimbríticas poseen un leve basculamiento hacia el este en el sector norte y hacia el NNE en el sur, conformando el homoclinal de Liberia. En la Vertiente Caribe de los volcanes, se encuentran importantes escarpes de fallas NW-SE que parecen asociados al graben de Nicaragua (figura 1).

En la Cordillera de Tilarán encontramos las fallas del graben de Arenal (NW-SE) y entre otras, la que originó el terremoto de Tilarán ( $M_S = 6.5$ , 14 de abril de 1973) (figura 1). En esta misma región, ocurrieron los terremotos de Cañas del 24 de agosto de 1853 y de Guatuso el 10 de octubre de 1911 (Montero, 1986; Alvarado et al., 1988)

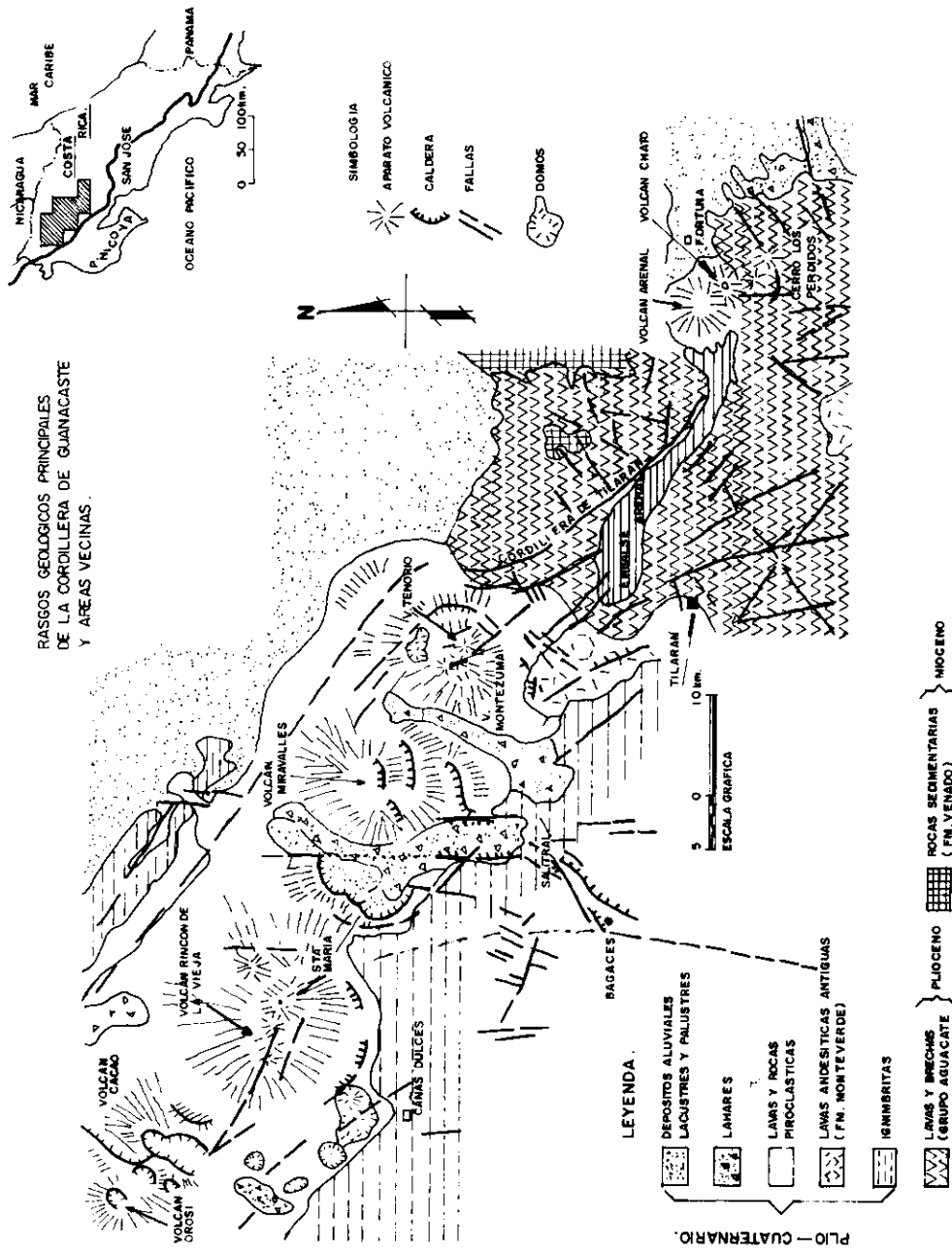


Figura 1: Marco geológico-tectónico simplificado de la región de la Cordillera Volcánica del Guanacaste y alrededores incluyendo parte de los cerros de Tilarán. Las fallas regionales transversales y longitudinales a la cordillera de edad pliocuaternaria, son mostradas.

## DATOS Y METODOS DE ANALISIS

Una revisión exhaustiva de los periódicos que se publicaban en el tiempo de ocurrencia de estos eventos fue realizada, la cual incluyó tanto los de distribución nacional como regional. En el caso del terremoto del 1 de agosto de 1935, fueron revisados los periódicos La Prensa Libre, Diario de Costa Rica, La Tribuna, La Hora, El Heraldito y El Viajero; estos dos últimos de distribución regional. Con respecto al terremoto del 6 de diciembre de 1941, fueron revisados los periódicos La Hora, La Tribuna, La Razón, Novedades, El Guanacaste, La Epoca, El Heraldito y La Voz del Atlántico, estos últimos cuatro de distribución regional.

Para complementar la anterior información se realizaron entrevistas personales en diferentes poblados del área epicentral. Reunida la información macrosísmica proveniente de los diferentes lugares, se estimó las intensidades e isosistas con base en la escala Mercalli Modificada (MM) de Richter (1958). La relocalización hipocentral de cada evento con base en los datos macrosísmicos y tectónicos fue posteriormente realizada.

## SISMICIDAD ANTERIOR A LOS TERREMOTOS DE BAGACES DE 1935 Y 1941

La actividad sísmica de profundidad menor o igual a 70 km ocurrida en los cinco años anteriores al terremoto de Bagaces del 1 de agosto de 1935 ( $M \geq 5.3$ , Gutenberg y Richter, 1954) estuvo concentrada en la región pacífica y fronteriza de Costa Rica y Panamá (figura 2). El principal evento ocurrido en esta región fue el terremoto del 18 de julio de 1934 ( $M = 7.7$ ) y posiblemente relacionado con la fractura de Panamá, límite entre las placas del Coco y de Nazca. Excepto fuera de esta fuente sísmica, el único evento significativo registrado fue el del 2 de octubre de 1932 ( $M = 6.75$ ), con epicentro al suroeste de Nicaragua en el Océano Pacífico. No hubo reporte de daños en Bagaces a raíz de la ocurrencia de estos eventos.

En el intervalo entre los terremotos de Bagaces de 1935 y 1941, la actividad sísmica del país se concentró en dos regiones (figura 2). La primera se presentó en la parte centro pacífica del país. El principal evento sísmico ocurrido fue el del 21 de diciembre de 1939 ( $M = 7.3$ ). Este temblor no causó daños en Bagaces de acuerdo con los reportes recopilados, aunque se sintió

muy fuerte, oscilatorio y largo, causando alarma entre la población. La segunda zona sísmica se concentró en el sur del país, del lado pacífico. El principal evento fue el terremoto del 5 de diciembre de 1941 ( $M = 7.5$ ), el cual causó daños en la región de Osa-Golfito y en el oeste de Panamá. Efectos menores también se reportaron en el Valle Central. En Bagaces se sintió bastante fuerte causando alarma. Este temblor ocurrió 4 h. y 30 min antes del temblor intraplaca de Bagaces. Por ese motivo, al igual que el énfasis en las noticias acerca de la Segunda Guerra Mundial, datos macrosísmicos de este último evento son sumamente escasos en los periódicos y circunscritos a la población de Bagaces.

La ocurrencia de un gran evento de subducción, unas pocas horas antes del terremoto de Bagaces de 1941, sugiere que el primer temblor actuó como un gatillo que disparó el evento intraplaca, por causa de una deformación que se propagó casi instantáneamente. Lo anterior considerando el tiempo de respuesta extremadamente corto y la distancia epicentral entre los temblores (330 Km aproximadamente). Yoshida (1988) reporta eventos intraplaca inducidos casi inmediatamente después de grandes eventos de subducción en el arco de islas de Japón, donde los temblores intraplaca raramente exceden  $M = 6.1$ .

El ISS localizó el evento de Bagaces del 6 de diciembre de 1941 en  $10.4^{\circ}N$  y  $85.7^{\circ}W$ , mismo epicentro que asignó a un temblor ocurrido el 8 de octubre de 1941 ( $M = 5.75$ ). No existen reportes de daños para este último evento en los periódicos consultados (La Tribuna y el Diario de Costa Rica). Gutenberg y Richter (1954) lo localizan en  $10.5^{\circ}N$  y  $86.25^{\circ}W$ , epicentro que se ubica al W y en el Océano Pacífico, respecto al terremoto de Bagaces de ese mismo año (figura 2). Esta localización parece adecuada ante la falta de datos macrosísmicos en el país.

## EL TERREMOTO DEL 1 DE AGOSTO DE 1935: DISTRIBUCION DE DAÑOS E INTENSIDADES

Los datos macrosísmicos recopilados muestran que la principal destrucción ocurrió en la población de Bagaces, donde la mayoría de las casas eran de adobe o de bahareque y de edad en muchos casos centenaria. De acuerdo con la descripción de daños en el periódico La Prensa Libre, en este poblado se presentó "techos caídos, casas en el suelo, casi todas las casas desentechadas, ha sido terrible trepidación de NE a SW. Muchas casas con

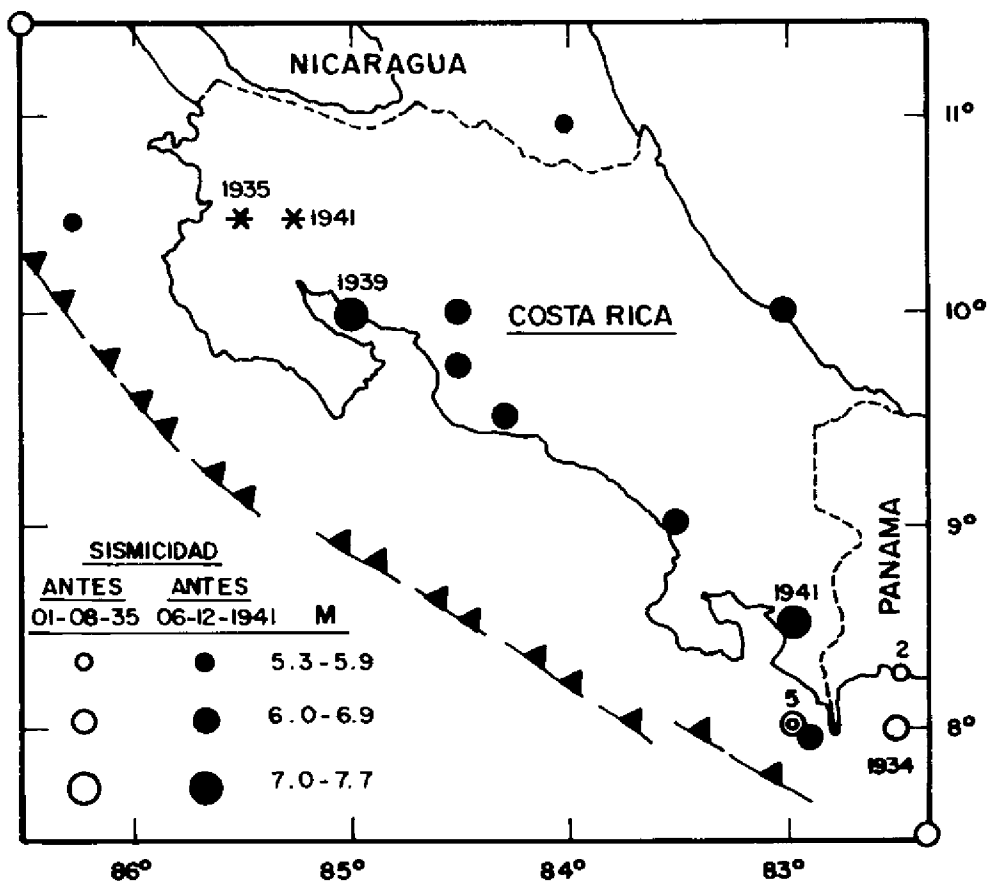


Figura 2: Sismicidad de profundidad menor o igual a 70 Km, anterior a los terremotos de Bagaces de 1935 y 1941. Los eventos localizados por Gutenberg y Richter (1954) de magnitud mayor o igual a 5.3, para los cinco anteriores al terremoto de Bagaces de 1935 (círculos sin rellenar) y para el intervalo entre el evento de 1935 u el otro terremoto de Bagaces de 1941 (círculos rellenos) son mostrados. Obsérvese la concentración de la actividad sísmica en diferentes regiones del margen pacífico de Costa Rica para los dos intervalos considerados.

las paredes caídas y destechadas. Las campanas de la Iglesia sonaron solas y varias imágenes quedaron destrozadas. El pueblo conmovido. No se recuerda temblor igual. Siguen connotaciones con ruidos subterráneos. No hay desgracias personales”. “...Solo hubo golpeados. Daños materiales sí hubo muchos. Muchas casas con el techo hundido, otras desplomadas y con las paredes rotas y caídas, sobre todo las construcciones de adobe, La iglesia sufrió daños de importancia... La Casa Municipal seriamente dañada, principalmente el local del telégrafo...” Los señores Medardo Guido y Carlos Sotela (coms. orales, 1988) se refieren que a raíz de

este terremoto repentino (sin eventos precursorres) colapsaron dos casas y se botaron algunas de ellas, especialmente de bahareque y algunas de adobe que quedaron reventadas; la Iglesia de adobe también quedó dañada abriéndosele las paredes.

Considerando las descripciones de daños y el tipo de construcciones afectadas, estimamos que la intensidad MM fue de VII, la cual es la intensidad máxima observada (figura 3). La anterior estimación está sustentada en: 1) Que las construcciones dañadas eran de adobe y de bahareque, las cuales no presentan resistencia a los esfuerzos laterales, mientras las construcciones de madera no fueron

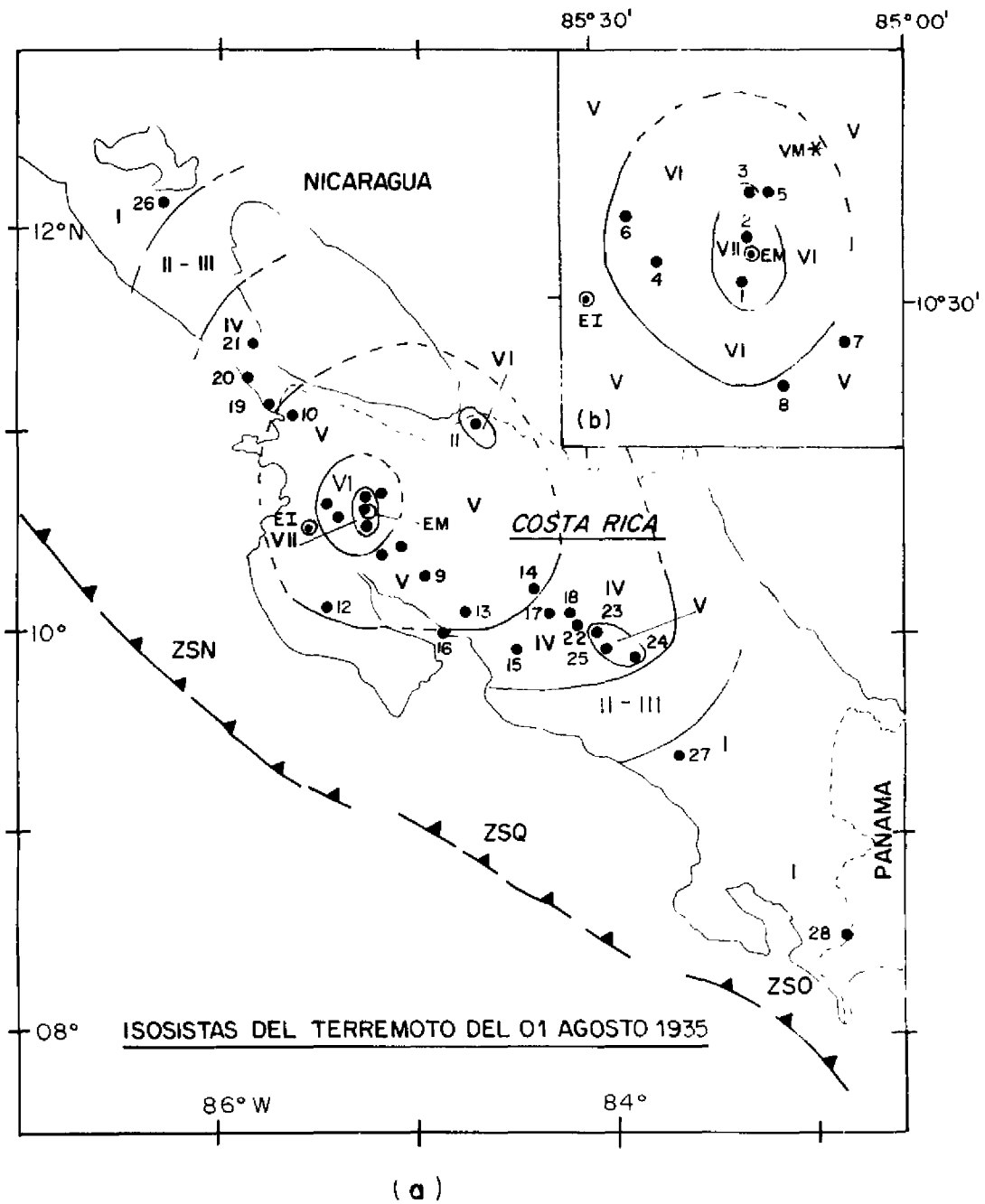


Figura 3: Mapa de isosistas del terremoto del 01 de agosto de 1935 para Costa Rica. En el recuadro se observa un detalle de las isosistas en la región más afectada alrededor de la población de Bagaces. Los círculos rellenos indican un lugar donde se estimó la intensidad, y el número al lado señala el número de la localidad en el cuadro I. Doble círculos al lado de Em y EI indican los epicentros macrosísmicos e instrumental respectivamente VM indica el volcán Miravalles (\*). ZSN, ZSQ y ZSO representan las zonas sísmicas de Nicoya, Quepos y Osa de acuerdo a Morales (1985).

afectadas, excepto por las referencias del señor Guido, de que las dos escuelas de madera quedaron desniveladas 2) No se cuenta con datos estadísticos oficiales de la cantidad de casas que se colapsaron totalmente, ni de cuántas fueron demolidas posteriormente o reparadas. Sin embargo, cuando ocurrió el terremoto de 1941, la mayoría de las casas en Bagaces eran de adobe y bahareque, lo cual hace suponer que buena parte de las casas fueron reconstruidas, o admitían reparaciones de acuerdo con el criterio de los vecinos, dado que con base en las descripciones, muchas casas tenían paredes caídas, desplomadas o reventadas. 3) De las descripciones de daños se deduce que las casas con techo de tejas fueron desentejadas en buena parte y algunas tenían el techo hundido. 4) De acuerdo con las entrevistas verbales realizadas, solo dos casas de adobe o bahareque colapsaron totalmente.

Fuera de la población de Bagaces, don José Campos (com. oral, 1988) comenta que estando en el camino de Salitral a Mogote, observó que los arbustos se mecían mucho y las ramas casi pegaban al suelo y la tierra se agrietó. A la casa de madera de su padre, ubicada en Salitral de Bagaces, se le cayó la teja.

El señor Sotela refiere que aunque no se recuerda bien, por la zona de Limonal se desraizaron algunos árboles. Lo anterior podría sugerir que el área de intensidad MM VII incluye la zona de Salitral hasta cerca de Mogote (figura 3). Sin embargo, según las entrevistas en Guayabo de Bagaces y Fortuna de Miravalles, las construcciones de madera no tuvieron daños. Únicamente el señor Campos refiere de líquidos lanzados fuera de recipientes o de botellas quebradas, en su casa ubicada en Fortuna de Guayabo. Estas últimas poblaciones podrían localizarse dentro del área de intensidad MM VI, al igual que la pequeña localidad de El Salto, camina a Liberia, donde causó pánico aunque las casas de madera no fueron afectadas.

Es de resaltar, sin embargo, que excepto por el tipo de construcción existente en Bagaces, en los demás poblados las casas eran de madera, las cuales en general no son susceptibles de tener daños en el nivel de intensidad MM VII.

En Liberia el temblor fue sentido violentamente y provocó alarma entre la población. Daños ligeros se mencionaron también, aunque en parte son contradictorios. No obstante, en el edificio (no se especifica tipo de construcción) del Juzgado y la Alcaldía, el juez menciona daños en las paredes y el techo. La intensidad MM debe estar en el límite más alto del grado VI

Fuera de los lugares anteriormente mencionados no se tienen otros reportes de daños. El patrón de isosistas fuera del área epicentral, puede ser definido hasta el sur de Nicaragua y el Valle Central de Costa Rica, respectivamente (figura 3). En esta última área, de acuerdo con los reportes de los periódicos, el temblor fue sentido bastante fuerte y largo en San José, Heredia y Cartago, en las direcciones noroeste y sureste del epicentro, causando alarma especialmente en las dos primeras ciudades. Otra localidad relativamente alejada del epicentro donde se sintió con "características de terremoto" fue Los Chiles (frontera norte con Nicaragua), sugiriendo un aumento de intensidad por efecto del terreno (ampliación de la señal sísmica). Hacia el noroeste el temblor no fue percibido en Managua (Nicaragua) y al sureste en San Isidro de El General tampoco (figura 3). De acuerdo con el epicentro macrosísmico que proponemos (ver adelante), estas poblaciones se podrían localizar respectivamente a 210 Km y 215 Km del mismo. El radio de percepción de este temblor en ambas direcciones es entonces del orden de 200 Km.

#### EPICENTRO MACROSÍSMICO Y DECAIMIENTO DE LAS INTENSIDADES

El epicentro macrosísmico que escogemos se podría ubicar en el centro del área mesosísmica. Las coordenadas son  $10^{\circ} 34.5'N$  y  $84^{\circ} 14.7'W$ . Se podría localizar unos 30 Km al N  $70^{\circ}E$  del epicentro instrumental (figura 3). Consideramos que el epicentro macrosísmico representa mejor las coordenadas focales reales del evento, porque se ubica en una región con fallamiento neotectónico y donde se presentaron los mayores daños, mientras que el epicentro instrumental se podría localizar en una región con intensidad MM V.

Una relación de decaimiento espacial de las intensidades ha sido determinada por las direcciones NW y SE del epicentro utilizando los datos de intensidad y distancia epicentral  $\Delta$  que se muestran en el cuadro 1 y figura 4:

$$I = 9.21 - 2.75 \log \Delta \quad (1)$$

El coeficiente de correlación es 0.877. Los datos de los poblados de Los Chiles, Nicoya, Heredia, San José y Cartago no fueron utilizados para obtener la relación (1), dado que los primeros dos poblados se localizan en las direcciones NE o SW del epicentro y en las tres últimas poblaciones se considera que existió un aumento local de la

intensidad por efecto del terreno. Si incorporáramos todos los datos, la relación de atenuación de intensidades sería (figura 4):

$$I = 8.90 - 2.42 \log. \Delta \quad (2)$$

El coeficiente de correlación es 0.789. El valor de intensidad en el hipocentro (valor "a") no varía prácticamente entre las relaciones (1) y (2). El valor de pendiente disminuye en la relación (2) respecto a la (1), indicando un decaimiento menor de las intensidades al aumentar la distancia epicentral, al considerar todos los datos.

#### ESTIMACION DE MAGNITUD DEL TERREMOTO DEL 1 DE AGOSTO DE 1935

Considerando que una magnitud instrumental no ha sido determinada para el evento de 1935, se efectuará una estimación del tamaño de este temblor considerando diversos parámetros. Una estimación grosera de la magnitud se puede realizar determinando el número de estaciones sismológicas ubicadas entre  $21^{\circ}$  y  $100^{\circ}$  de distancia epicentral, que reportaron lectura de la onda P del temblor en el ISS (Miyamura, 1976). En el caso del evento de 1935, 58 estaciones reportaron este dato. De las gráficas de Miyamura se estimaría que la magnitud  $M_S$  fue alrededor de 6.5. Estimaciones de magnitud también pueden ser realizadas utilizando parámetros macrosísmicos. Gutenberg y Richter (1956) obtuvieron para California la relación:

$$M = -3.0 + 3.8 \log r \quad (3)$$

donde  $r$  es el radio medio de percepción. Si  $r$  lo estimamos en 200 Km,  $M = 5.7$ . Gutenberg y Richter obtuvieron en la misma región la relación

$$M = 1 + (2/3) I_0 \quad (4)$$

donde  $I_0$  es la intensidad máxima observada que es VII en nuestro caso y por tanto  $M = 5.7$ . Toppozada (1975) obtuvo para California y el oeste de Nevada:

$$M_L = 1.85 + 0.49 I_0$$

donde  $M_L$  es la magnitud local. Si  $I_0 = VII$ ,  $M_L = 5.3$ . También Toppozada obtuvo:

$$M_L = 3.49 + 0.87 \log. A(VII) \quad (5)$$

$$M_L = 2.56 + 0.85 \log. A(VI) \quad (6)$$

donde  $A(VII)$  y  $A(VI)$  son las áreas encerradas por las isosistas de intensidad MM VII y VI respectivamente. Para el terremoto de 1935,  $A(VII)$  es 210 Km<sup>2</sup> y  $M_L = 5.5$ . Aplicamos (6) con  $A(VI)$  de 1650 Km<sup>2</sup> y obtenemos  $M = 5.3$ . La magnitud promedio usando las relaciones (3) a (6) nos da el valor  $M_L = 5.5$ .

#### EL TERREMOTO DEL 6 DE DICIEMBRE DE 1941: DISTRIBUCION DE DAÑOS Y INTENSIDADES

Los efectos de este terremoto quedan claramente expresados en el artículo del periódico *Novedades* (p. 6; 8-12-41) titulado "De 100 casas bagaceñas, solo 2 quedaron ilestras", del cual extractamos lo siguiente: "...El poblado estaba integrado por cien casas, tal vez las casas más viejas del país. Aquellas casas, construcciones, cuyas edades a veces eran centenarias, se hicieron de bahareque sin horcones. Desde luego no estaban para resistir los últimos temblores. De estas cien casas y por la razón apuntada anteriormente no quedaron ilestras y sanas totalmente nada más que dos. El resto se dañó considerablemente o se cayó... 98 casas son inhabitables. Las únicas casas que sufrieron ningún daño son la escuela que es un edificio nuevo de madera, y la casa de habitación de Amalia y don Antolín... Las tejas se cayeron de amigos... Las paredes se rajaron y algunas cayeron al suelo estrepitosamente... La iglesia sufrió daños de consideración en su techumbre que es de teja. Algunas imágenes valiosas resultaron dañadas, pero en general, el edificio se encuentra en buen estado si exceptuamos la techumbre...". La casa del General Tomás Guardia, que es monumento nacional, resultó dañada también. Pero se conserva en buen estado... Las oficinas públicas, jefatura política, municipalidad, telegrama, etc., también quedaron dañadas considerablemente."

La ausencia de desgracias personales se explica porque desde temprano estuvo temblando muy fuerte, provocando que los vecinos estuvieran alerta y fuera de sus casas cuando ocurrió el terremoto de Bagaces horas después.



**DECAIMIENTO ESPACIAL DE INTENSIDADES TERREMOTO DEL 01 AGOSTO DE 1935.**

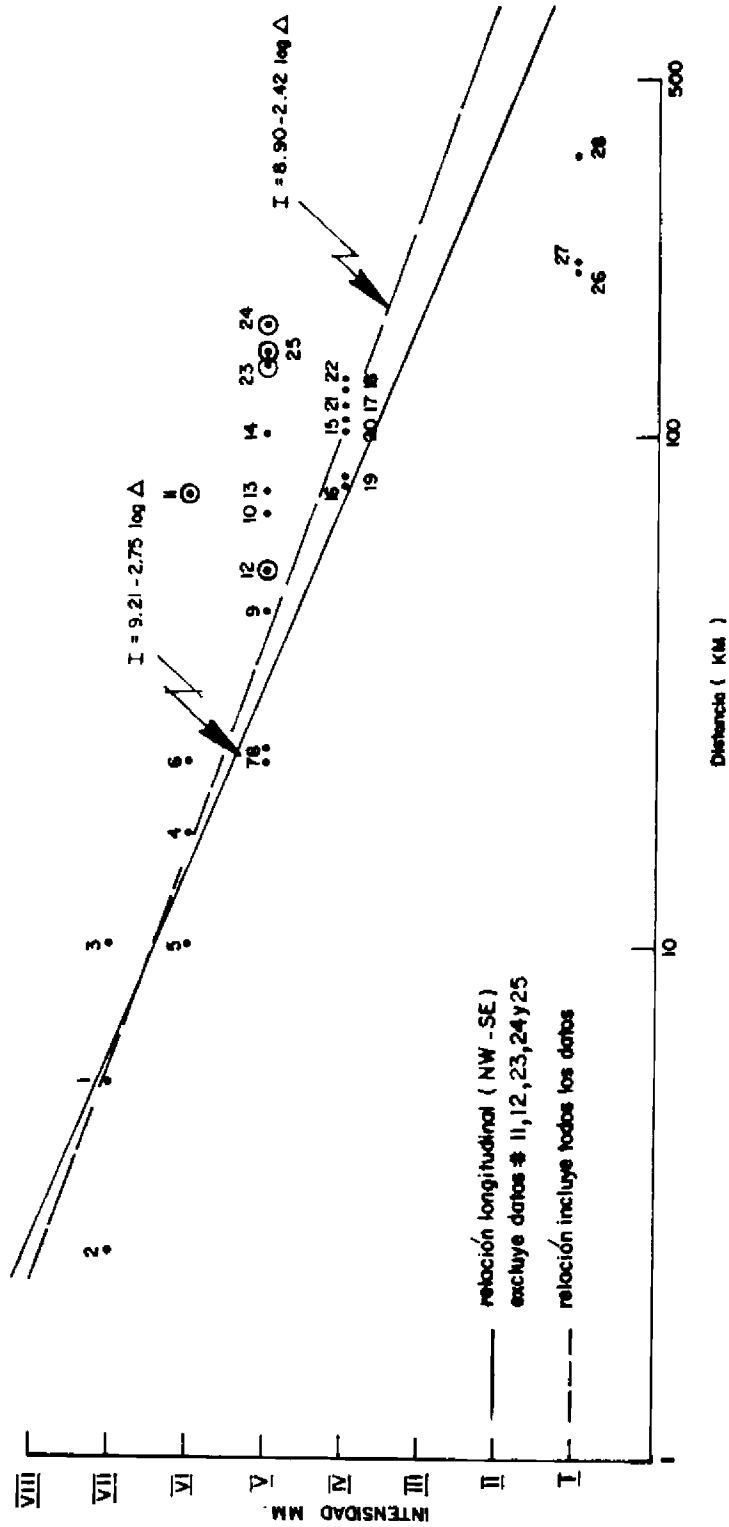


Figura 4: Atenuación espacial de intensidades para el terremoto del 01 de agosto de 1935. Se muestran las relaciones de atenuación de intensidades para la dirección longitudinal de Costa Rica, excluyendo los datos indicados y para todo el país. Los números de las localidades según el cuadro 1.

En fotografías del periódico *Novedades* se muestra, por ejemplo, una casa de adobe con sus paredes frontales caídas, el techo en parte colapsado y en parte destejado; la otra muestra una familia instalada bajo un árbol, viviendo a la intemperie por causa de los daños provocados por el temblor y la alarma entre el poblado por la ocurrencia de temblores réplicas. En el periódico *La Tribuna*, del 9 de diciembre aparece un amplio artículo reportando daños y mostrando excelentes fotografías de los daños en Bagaces. El temblor se sintió violentamente y, al parecer, fue corto.

De acuerdo con las entrevistas personales realizadas, las casas de madera fueron poco afectadas o no afectadas. Guido reporta que algunas se desnivelaron y los techos fueron hundidos o destejados. Los señores José Eladio Pazos, Librada Alvarez, Olga Marta Alvarado e Isidro Sequeira (coms. orales, 1988) no reportaron daños en las casas de madera. Las casas de adobe fueron muy dañadas, pero al Señor Pazos le parece que las de bahareque fueron más afectadas. Reporta asimismo que aunque las casas no se cayeron en forma completa, quedaron muchas en pie, pero en estado muy lastimoso, por lo que hubo que construirlas de nuevo, y menciona nombres de dueños que hicieron esto. Recuerda que los árboles se mecieron fuertemente y se observaron grietas en los potreros y caminos. El señor Lalo Vargas menciona que en un negocio comercial se cayó toda la mercadería.

Alvarado y Sequeira recuerdan fogones caídos y cofres pesados desplazados por causa del temblor. La mayoría de los cercos de piedra se reventaron o cayeron y también se presentaron aberturas en el suelo. Guido observó grietas y bloques caídos de los paredones en el camino entre Liberia y Bagaces.

Con base en las anteriores descripciones que reflejan, entre otros, una destrucción considerable en las casas de adobe y bahareque, estimamos que en Bagaces la intensidad MM fue VIII (figura 5). Un valor de intensidad MM VII es también factible considerando: 1) Los daños ocurridos a las casas de adobe y bahareque, por causa especialmente del terremoto de 1935, no fueron posiblemente en forma adecuada reparados o causaron debilidades estructurales no visibles y acumuladas, mayores de las que de por sí tiene este tipo de construcción. 2) El temblor interplaca de  $M = 7.5$ , ocurrido 4 h y 30 min. antes, fue sentido sumamente fuerte en esta población, y posiblemente afectó las construcciones

En la población de Montano, el señor Vargas reportó que este temblor se percibió muy fuerte con movimientos verticales y no se podía caminar. Se originó histeria colectiva, la gente corrió por lo menos lo intentaban. Su casa de madera, aparte de desentecharla, no la desplomó; otra casa cercana se destejó y se inclinó un horcón esquinero. Considera, que ambos temblores eran de tamaño parecido (se refiere al de la tarde y al de la noche del mismo día). En el poblado en general las casas eran de madera. Una intensidad MM VII es asignada en esta localidad.

En la población de Montenegro, el señor Jerónimo Quirós (com. oral, 1988) recuerda que las casas eran solo de madera y algunas se inclinaron (eran de horcones gruesos). Durante la ocurrencia de las réplicas no escuchaba ningún ruido al ocurrir los mismos. La intensidad asignada está entre VI y VII.

En Aguas Calientes parece que ocurrió daños y en Salitral se formó una grieta como de 1.5 m en la casa de un vecino, según relataron los testigos. Los anteriores poblados se incluyen en el área mesosísmica donde se reportaron daños a las construcciones u observaciones que implican intensidades  $MM \geq VII$  (figura 5).

En los poblados de El Salto, Arena y Liberia al igual que en la Fortuna de Miravalles, las descripciones corresponden a intensidad MM VI (figura 5). En Paso Hondo camino a Bebedero el señor Quirós reportó que la tierra se mecía, se movían los árboles y no se podía caminar (intensidad MM VI). Reportes macrosísmicos de otros lugares acerca de este temblor son muy escasos porque la mayoría de las descripciones periodísticas se refieren al gran temblor interplaca. Los lugares donde se estimó intensidad y su distancia epicentral se muestran en el cuadro 1.

#### EPICENTRO DEL TERREMOTO DEL 6 DE DICIEMBRE DE 1941

El epicentro determinado por Gutenberg y Richter (1954) a los  $10.5^{\circ}N$  y  $85.25^{\circ}W$  se ubica dentro del área mesosísmica de intensidad VIII, escogido para este evento. Además se podría situar muy cerca de la falla Bagaces o el extremo austral del borde occidental del graben Fortuna-Peje, estructuras a las que se puede asociar este evento, como se discutirá posteriormente. Por las anteriores razones consideramos adecuado el epicentro determinado instrumentalmente.

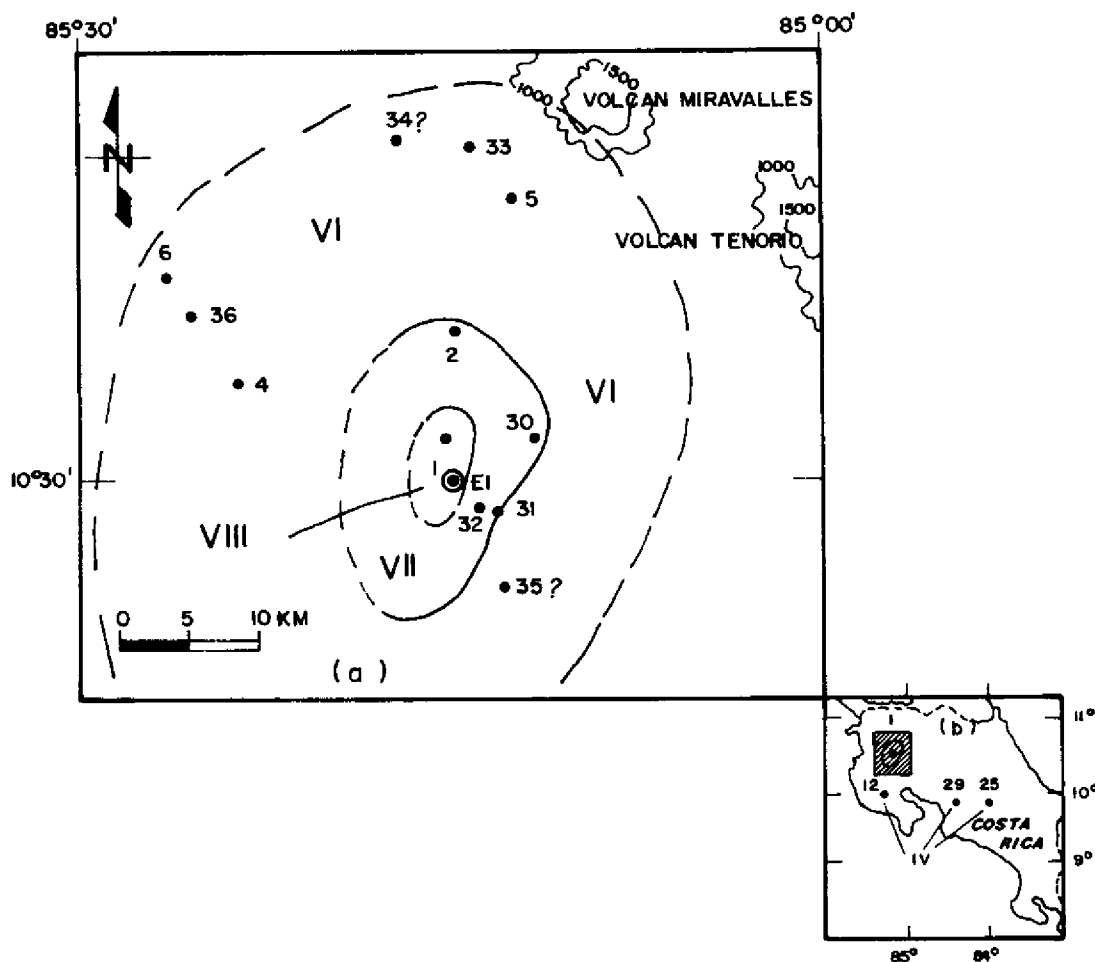


Figura 5: Mapa de isosistas de la región más afectada por el terremoto de Bagaces del 6 de diciembre de 1941. En el recuadro, los escasos datos de intensidad recopilados en otras regiones de Costa Rica. Simbología igual que en la figura 3.

#### LA PROFUNDIDAD Y MAGNITUD RELATIVA DE LOS TERREMOTOS DE 1935 Y 1941

La profundidad de los eventos es superficial considerando lo siguiente:

1) Para el evento de 1935 el periódico La Prensa Libre y algunos pobladores entrevistados refieren haber oído ruidos subterráneos con los temblores réplicas, en algunos casos, claramente antes de haberse sentido. Los sonidos se interpretan resultan al transmitirse la onda P del terremoto al aire, lo cual solo se puede percibir en temblores superficiales y muy cerca del epicentro.

2) El decaimiento espacial de las intensidades, para el temblor de 1935, se ajusta al de un temblor somero

3) Para el evento de 1941, existen varios reportes de personas entrevistadas en diversos poblados del área mesosísmica, que indican la presencia de ruidos previos o simultáneos con la ocurrencia de temblores.

4) Hay abundante referencia a la ocurrencia de grietas en el terreno para el evento de 1941. Ejemplos se presentaron en Salitral de Bagaces y en el camino entre Liberia y Bagaces. También

CUADRO 1  
LUGARES CON INTENSIDAD DETERMINADA – TERREMOTOS DE BAGACES

No. de Población	Población	Terremoto del 1-8-1935			Terremoto del 6-12-1941		
		Intensidad MM	Distancia Epicentral Estimada (Km)	Referencia	Intensidad MM	Distancia Epicentral Estimada (Km)	Referencia
1	Bagaces	VII	5.4	PE*, EP <sup>+</sup>	VIII	3.2	PE, EP
2	Salitral	VII	2.5	EP	VII (?)	10.5	EP
3	Camino a Mogote	VII	10.0	EP	---	---	---
4	Salto	VI	16.7	EP	VI (?)	17.3	EP
5	Fortuna de Miravalles	VI	10.0	EP	VI	20.0	EP
6	Liberia	VI	23.0	PE	VI	25.2	EP
7	Cañas	V	23.0	PE	---	---	---
8	Bebedero	V	24.2	PE	---	---	---
9	Las Juntas, Abangares	V	45.1	PE	---	---	---
10	La Cruz	V	69.8	PE	---	---	---
11	Los Chiles	V-VI	76.1	PE	---	---	---
12	Nicoya	V	53.9	PE	IV (?)	45.5	EP
13	Miramar	V	77.7	PE	---	---	---
14	Laguna de Alfaro Ruz	V-VI	100.3	PE	---	---	---
15	Orotina	IV	107.8	PE	---	---	---
16	Puntarenas	IV	79.8	PE	---	---	---
17	Sarchí	IV	112.0	PE	---	---	---
18	San Rafael de Poás	IV	121.2	PE	---	---	---
19	Ostional, Nicaragua	IV	81.0	PE	---	---	---
20	San Juan Sur, Nicaragua	IV	100.5	PE	---	---	---
21	Rivas, Nicaragua	IV	113.6	PE	---	---	---
22	Alajuela	IV	128.7	PE	---	---	---
23	Heredia	V	138.7	PE	---	---	---
24	Cartago	V	165.1	PE	---	---	---
25	San José	V	146.3	PE	III	145.1	PE
26	Managua, Nicaragua	I	208.9	PE	---	---	---
27	San Isidro, El General	I	215.2	PE	---	---	---
28	La Cuesta, Frontera-Panamá	I	353.6	PE	---	---	---
29	San Mateo	---	---	---	IV	102.1	PE
30	Montano	---	---	---	VII	6.9	EP
31	Montenegro	---	---	---	VI-VII	4.7	EP
32	Aguas Calientes	---	---	---	VI-VII	---	EP
33	Guayabo de Miravalles	---	---	---	VJ	23.4	EP
34	Camino entre Limonal y San Jorge	---	---	---	VI	24.0	EP
35	Paso Hondo, camino a Bebedero	---	---	---	VI	9.0	EP
36	Arena	---	---	---	VI	22.5	EP

PE\* Se refiere a datos tomados de periódicos de la época de los terremotos.

EP<sup>+</sup> Se refiere a entrevistas personales realizadas en 1988

se refiere que algunos pozos disminuyeron su nivel de agua. La presencia de grietas en terreno rocoso podrían sugerir que algunas fracturas están relacionadas con movimientos en la falla principal o en secundarias, que ocurrieron durante el terremoto o la secuencia de réplicas. Esto está sustentado por la presencia de escarpes en algunas de las fallas de la región.

5) Para ambos terremotos los daños se presentaron en un área restringida. El área mesosís-

mica de los terremotos de 1935 y 1941, de intensidad, MM VII y VIII respectivamente, es relativamente pequeña, lo cual es típico de temblores superficiales.

Las anteriores observaciones sustentan una profundidad superficial para ambos eventos, y posiblemente a 20 Km de profundidad, lo cual los ubicaría en la parte superior de la corteza.

En relación con las profundidades relativas de los eventos de Bagaces, los datos de intensidades

sugieren que el evento de 1935 es de mayor profundidad que el de 1941. Lo anterior considerando la atenuación de intensidades a partir del hipocentro y las áreas definidas por las isosistas, aunque hay que considerar la magnitud de los eventos. Si el terremoto de 1941 es de magnitud igual o menor que el de 1935 como lo sugiere:

1) Ambos eventos fueron reportados por un número similar de estaciones entre  $21^{\circ}$  y  $55^{\circ}$  de distancia epicentral (28 y 29 estaciones para los terremotos de 1935 y 1941 respectivamente).

Este valor depende especialmente de la magnitud de los temblores (Miyamura, 1976). No se incluyen las estaciones ubicadas a distancias epicentrales entre  $55^{\circ}$  y  $100^{\circ}$ , dado que corresponde a Europa principalmente. Lo anterior por la ocurrencia de la II Guerra Mundial que afectó este continente para la época del terremoto de 1941.

Consideremos el número total de estaciones entre  $21^{\circ}$  y  $100^{\circ}$  (58 y 34 estaciones para los terremotos de 1935 y 1941 respectivamente). Usando las gráficas de Miyamura (1976) se tendría una magnitud  $M = 6.1$  para el terremoto de 1941, que es prácticamente equivalente a la  $M = 6.0$  obtenida por Gutenberg y Richter (1954) y menor que la estimada para el evento de 1935 ( $M = 6.5$ ) usando las mismas gráficas.

2) La amplitud traza máxima ( $A_{Tmax}$ ) de las ondas Love inscritas en la estación Mérida (MER) de México, distancia epicentral de  $11^{\circ}$ , en la componente NS es de 13 mm ( $T = 11$  seg) para el terremoto de 1935, mientras que en la misma componente es de 8 mm ( $T = 7$  seg) para el terremoto de 1941. La  $A_{Tmax}$  en la componente EW de la misma estación es también mayor para el evento de 1935 respecto al de 1941, aunque este último es menos legible. Los trenes de ondas superficiales son de amplitud mayor para el evento de 1935 respecto al de 1941 en ambas componentes. Considerando que la estación Mérida no varió sus características instrumentales entre ambos eventos (L. Ponce, comunicación escrita, 1988), lo anterior nos llevaría a concluir que el evento de 1935 tuvo mayor magnitud que el de 1941.

3) La magnitud promedio  $\bar{M}_L$  determinada para el terremoto de 1935 es 5.5. El área de intensidad VII para el terremoto de 1941 es aproximadamente  $230 \text{ Km}^2$ . Si usamos la relación (5) obtenemos  $M_L = 5.5$ . El área de intensidad VI del te-

rremoto de 1941 es prácticamente equivalente a la del terremoto de 1935, aunque ambas están poco restringidas.

Si las anteriores consideraciones respecto a la magnitud igual o menor del terremoto de 1941 respecto al de 1935 son válidas, y retomamos el aspecto de las profundidades relativas de los eventos de Bagaces, se observa que: a) El terremoto de 1941 originó un área mesosísmica de intensidad MM VIII, mientras que el terremoto de 1935 tuvo un área mesosísmica de intensidad MM VII. Por otro lado, las áreas de intensidad MM VII son similares para ambos eventos (figuras 2 y 4) aún teniendo igual o mayor magnitud el evento de 1935. b) La intensidad MM VI se presenta en similares poblados para ambos temblores. c) En distancias epicentrales mayores (aunque los datos son escasos para el terremoto de 1941), se sugiere que el terremoto de 1935 fue sentido con mayor intensidad respecto al de 1941. Esto es cierto en la ciudad de San José (Cuadro 1), aunque el temblor de subducción ocurrido previamente, alertó a la población y atenuó el impacto psicológico que provoca siempre la percepción de un temblor posterior a uno que es moderado a grande. Los anteriores puntos sugieren una profundidad relativamente mayor para el evento de 1935 respecto al de 1941, aunque la escasa restricción de los parámetros incluidos en la estimación hace difícil cualquier conclusión definitiva.

## DURACION DE LA ACTIVIDAD DE REPLICAS

Los datos recopilados varían considerablemente entre las diferentes personas entrevistadas en cuanto a la duración de la actividad sentida de réplicas para ambos terremotos. Lo anterior se explica, entre otros, por el tiempo transcurrido entre la ocurrencia de ambos eventos y las entrevistas realizadas. Además este dato depende del lugar de observación. Para el terremoto de 1935 los reportes sugieren que la actividad sentida de réplicas fue relativamente corta, durando unas pocas semanas, aunque en algunos poblados la gente se mantuvo fuera de sus hogares por algunos días a causa de la frecuencia de los temblores. Guido recuerda además que no hubo temblores sentidos anteriores al principal, lo cual sugiere que la secuencia fue del tipo evento principal y réplicas.

En el caso del terremoto de 1941, las opiniones respecto a la duración de la actividad sentida de réplicas en poblaciones ubicadas dentro del área mesosísmica es contradictoria. El período

más largo reportado es de aproximadamente dos meses y el más corto del orden de dos semanas, con una actividad muy continua especialmente durante la primera. Dentro de esta actividad posiblemente algunos temblores alcanzaron magnitudes hasta de 4.0 y 4.5 de acuerdo con la descripciones macrosísmicas recopiladas.

#### AMBIENTE TECTÓNICO Y FUENTE DE LOS TERREMOTOS DE BAGACES.

El sistema volcánico de Guayabo y Miravalles, se ubica 20-30 Km al norte de la población de Bagaces. Fue edificado en varias etapas en su mayor parte durante el Cuaternario. La población de Bagaces se ubica en el límite morfológico entre el pie de monte de los flujos pumíceos (en su mayoría procedentes de los sucesivos colapsos caldéricos del paleo-volcán Guayabo y del paleo-volcán Rincón de la Vieja y defacies posteriores) y los llanos ignimbríticos regionales (ICE-ELC, 1983; Mora, 1988). La estructura caldérica de Guayabo tiene unos 15 Km de diámetro y el macizo del Volcán Miravalles (2028 m.s.n.m.) no ha manifestado actividad desde tiempos históricos.

Un importante fallamiento N-S de tipo normal con probable componente de rumbo, perturba el borde caldérico y en parte parece influir en el ascenso de magma a través de focos subterminales. Se establece así un sistema de fallamiento escalonado que define el graben La Fortuna-Peje, con estructuras profundas más internas levantadas a modo de pequeños horts. Otro rasgo estructural importante corresponde con el fracturamiento NE-SW, sobre el cual se edificaron y migraron los focos eruptivos cuspidales del Volcán Miravalles. Los controles estructurales menores tienen rumbos E-W y NW-SE (ICE-ELC, 1983, 1984, 1986; Alvarado et al., 1986; Barquero, 1987; Leandro et al., 1988; Lezama et al., 1988). El fallamiento N-S produce un desplazamiento morfológico vertical mínimo de 200 m en el borde norte de la caldera de Guayabo. Por otro lado, el graben de La Fortuna posee un ancho de 5 Km y una longitud mínima de 20 Km en la región del volcán, aunque podría aumentarse a 35 Km o más si tomamos en consideración las fallas normales y fracturas NNE-SSW y algunas N-S, ubicadas inmediatamente al norte de Bagaces. Estos podrían conformar el término austral relativo del graben y ello explicaría la existencia de una región muy fracturada con posibles fallas antitéticas (Figs. 1 y 5).

Se han observado pequeñas fallas normales cortando a los depósitos de flujos de pómez del Cuaternario Medio y Superior en el extremo occidental y austral del graben, por eso, estamos en presencia de un neotectonismo. Sobresale una zona de falla vertical de 2 m de espesor con rumbo N16E, ubicada aproximadamente a 9 Km al NNE de Bagaces, hacia el extremo norte de un escarpe morfológico (localidad 1 en la fig. 6). Esto le confiere las características de una potencial fuente sismogénica para los terremotos de Bagaces, dado que presenta los aspectos estructurales y morfológicos de una falla en donde además encontramos otras paralelas. Los estudios fotogeológicos y de imágenes de satélite realizados por ICE-ENEL (1988) definen una falla importante ubicada al W de Bagaces y con rumbo NNE-SSW, ligeramente curvilínea, que se extiende por espacio de más de 40 Km. Esta sería otra fuente sismogénica importante, con una longitud adecuada para generar temblores de magnitud intermedia, como los estudiados.

Existen varias alternativas para explicar la secuencia de los terremotos de Bagaces de 1935 y de 1941. Entre estas se pueden discutir la ocurrencia de cada uno de estos temblores en fallas diferentes paralelas (fallas predominantemente normales). Otra alternativa es que ocurrieron en la misma falla, con profundidades iguales o diferentes y con rupturas en diferentes sectores.

Exploremos esta última alternativa. La cercanía temporal y espacial de los eventos sugiere la posibilidad de que estén relacionados con una misma falla. Por ejemplo escogemos la falla de Bagaces como la fuente sismogénica que originó ambos terremotos (figuras 6 y 7). Considerando el modelo de asperezas (Lay y Kamamori, 1981; Lay et al., 1982) se podría explicar la secuencia de eventos como resultado de la ruptura de una de ellas (terremoto de 1935), incrementándose los esfuerzos lateralmente, pero siendo insuficientes para romper la segunda aspereza, donde se originó posteriormente el evento de 1941. En la falla de Bagaces esta última aspereza podría estar localizada en el lugar donde la falla cambia de rumbo de NNW a NNE, prácticamente al oeste de la población de Bagaces (figuras 6 y 7). Un refinamiento de este modelo ubicaría el evento de 1935 a relativamente mayor profundidad que el de 1941, según lo discutido previamente.

El origen de los temblores en una misma falla o en fallas diferentes, tiene diversas implicaciones. Por ejemplo, para la estimación del riesgo

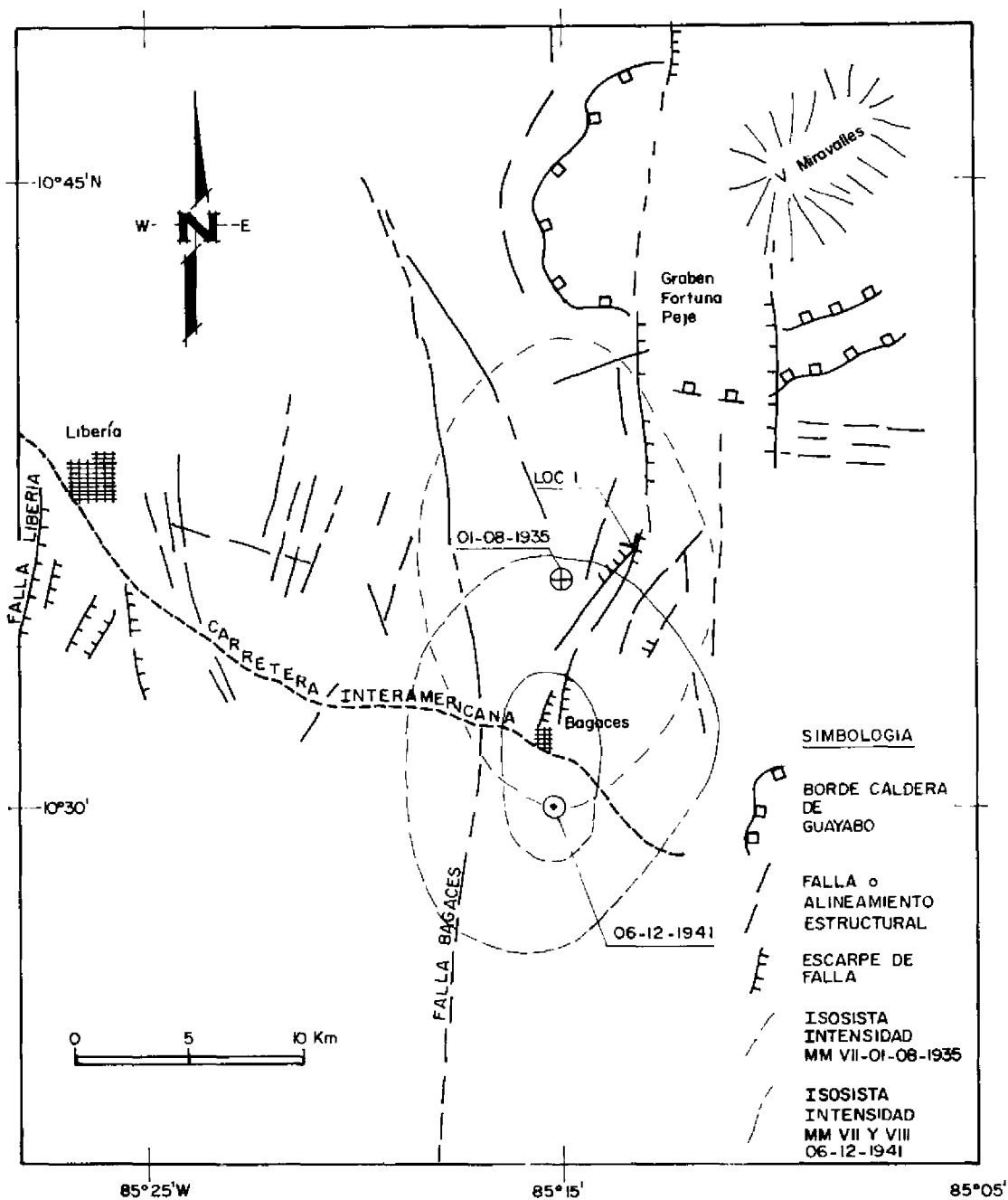


Figura 6: Detalle de la estructura neotectónica en la región alrededor de la población de Bagaces el cual está basado parcialmente en el informe ICE-ENEL (1988). Se observa claramente el graben de Fortuna-Peje y la falla de Bagaces, dos de las posibles fuentes sismogénicas donde se pudo originar los terremotos de Bagaces de 1935 y de 1941. Las isosistas de intensidad MM VII o superior de ambos terremotos, junto con los epicentros macrosísmicos escogidos se muestran como referencia.

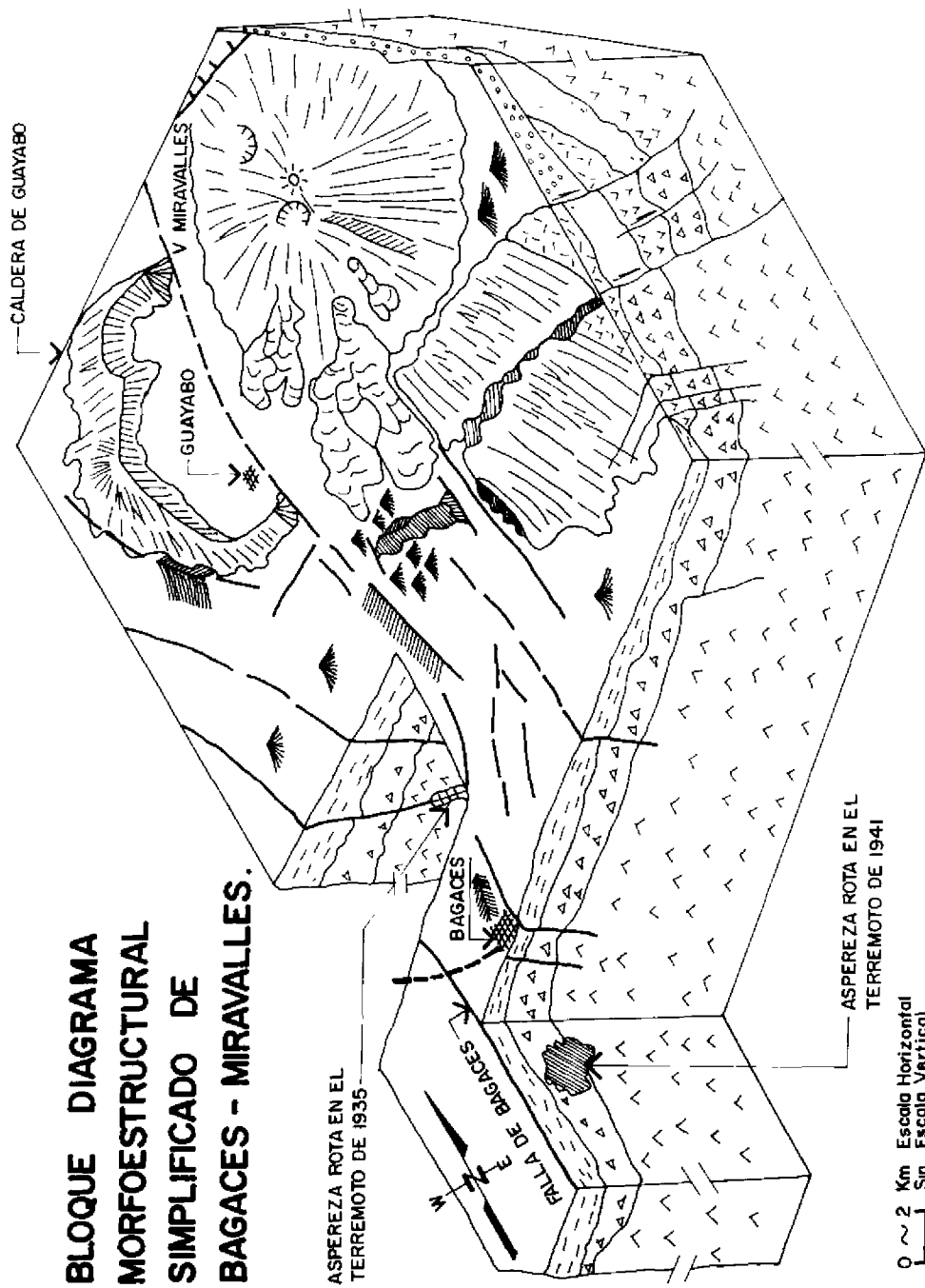


Figura 7: Bloque diagrama morfoestructural simplificado de Bagaces-Volcán Miravalles. Se ha escogido a modo de ejemplo la falla de Bagaces como la fuente de los terremotos de Bagaces de 1935 y 1941. Se muestra esquemáticamente las posiciones relativas de las asperezas que se rompieron para cada temblor. La correspondiente a la del terremoto de 1941 se ubicaría en la zona de cambio de rumbo de la falla que se ubica al oeste.



sísmico, dado que el cálculo del sismo máximo posible será diferente de acuerdo con el modelo tectónico que se escoja. Si ambos eventos ocurrieron en una misma falla y bajo condiciones de esfuerzo diferentes, ambas asperezas pudieron romperse en una sola ruptura (evento múltiple). En este caso la magnitud del evento pudo ser  $M_S = 6.2$  (si ambos eventos tuvieron magnitud  $M_S = 6.0$ ) o de  $M_S = 6.6$  (si el terremoto de 1935 tuvo magnitud  $M_S = 6.5$ )

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los terremotos de Bagaces de 1935 y de 1941, pertenecen a la categoría de eventos intraplaca que ocurren cerca o a lo largo de la Cordillera Volcánica Centroamericana, a los que Dewey y Algermissen (1974) denominaron "terremotos de foco superficial de la zona volcánica". A través de la historia de esta región, estos eventos han demostrado ser los más destructivos, porque al tener profundidad somera y epicentros cercanos a centros de población importantes, causan intensidades altas, a pesar de su magnitud intermedia ( $5 \leq M \leq 6.5$ ). La profundidad superficial de los terremotos de Bagaces se demuestra con base en diferentes observaciones y datos macrosísmicos recopilados. Los epicentros son relativamente cercanos al eje de la Cordillera Volcánica del Guanacaste.

La intensidad MM VII, que es la máxima determinada para el evento de 1935, está bastante bien establecida con base en los daños descritos dentro del área mesosísmica. La intensidad MM VIII, que es la máxima estimada para el terremoto de 1941, es dudosa con base principalmente, en los daños acumulados por la ocurrencia de terremotos previos y especialmente el de 1935. Sin embargo, en Bagaces el daño a las casas de adobe y bahareque fue generalizado, presentándose colapso parcial o total de las viviendas. Lo anterior sustentaría la intensidad MM VIII estimada.

El decaimiento espacial de las intensidades para el evento de 1935 es menor al considerar todos los datos respecto a cuando se consideran únicamente los datos de la dirección NW-SE. El valor de la pendiente "b" es de 2.42 para la relación generalizada. Este valor es bastante menor respecto al encontrado para los terremotos de Cartago de 1910 ("b" de 3.0), cuya fuente es superficial y de ambiente tectónico intraplaca (Montero y Miyamura, 1981). Lo anterior puede explicarse por la existencia de un medio

geológico más eficiente en la transmisión de la energía sísmica al noroeste de Costa Rica, y por tanto en diferencias en la estructura cortical del noroeste y centro del país (despreciando diferencias de profundidad entre ambos terremotos) Esta última región se consideraría más "débil" respecto a la anterior zona que sería de corteza más rígida y resistente (Evernden et al., 1981). Análisis comparativos entre temblores intraplaca de ambas regiones, se requirieren en el futuro para sustentar esta sugerencia.

Los terremotos de Bagaces de 1935 y de 1941 ocurrieron en un sistema de fallas predominantemente normales y transversales al eje de la Cordillera volcánica del Guanacaste, siendo las estructuras regionales más importantes la falla Bagaces y el graben Fortuna-Peje. La ubicación de las áreas mesosísmicas sustenta la escogencia de cualquiera de las dos estructuras, como la probable fuente sísmogénica de los terremotos de Bagaces de 1935 y de 1941.

Proponemos los siguientes parámetros focales para ambos terremotos:

### Terremoto del 1 de agosto de 1935:

Tiempo de Origen: 10:08' (LT), 16:08' (GMT)  
 Epicentro: 10° 34.5'N, 85° 14.7'W  
 Profundidad: 10-15 Km  
 Magnitud local  $M_L$ : 5.5.  
 Intensidad máxima: VII

### Terremoto del 6 de diciembre de 1941:

Tiempo de Origen: 19:25' (LT), día 5)  
 01:25' (GMT)  
 Epicentro: 10° 30.0'N, 85° 15.0'W  
 Profundidad: 5 Km  
 Magnitud  $M_S$ : 6.0  
 Intensidad máxima: VIII

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, dentro del proyecto No. 113-86-051. Asimismo, se agradece el apoyo logístico aportado por el Departamento de Geología del Instituto Costarricense de Electricidad. Especial reconocimiento y agradecimiento deseamos dar a las personas que fueron entrevistadas y accedieron gustosamente a proporcionarnos su ayuda en el cantón de Bagaces y que se mencionan en el texto.

Finalmente se reconoce el apoyo brindado por el señor Giovanni Peraldo en la recolección de la información oral realizada en 1988, y al Dr. Lautaro Ponce M., su colaboración al enviarnos negativos de los terremotos de 1935 y de 1941 de las componentes horizontales de la estación Mérida de México.

## REFERENCIAS

- Alvarado, G. E., R. Barquero, I. Boschini, S. Chiesa y M. J. Carr, 1986, "Relación entre la neotectónica y el vulcanismo en Costa Rica"; Rev. CIAF, II: 246:264.
- Alvarado, G. E., T. Matumoto, A. Borgia y R. Barquero, 1988. "Síntesis geovulcanológica del Arenal (Costa Rica): 20 años de continua actividad eruptiva (1968-1988)". Bol. Observatorio Vulcanológico del Arenal, Dirección Planificación Eléctrica, Inst. Cost. Elect., 1: 1-55.
- Barquero, R. 1987, "Proyecto geotérmico Miravalles: Estudio sismológico compilativo". Departamento de Geología, ICE, Inf. Interno, 55 págs.
- Blake, A., 1941, "On estimation of focal depth from macroseismic data", Bull. Seism. Soc. Am., 31 (3) 225-232.
- Carr, M., 1976, "Underthrusting and Quaternary faulting in Central America", Geol. Soc. Am. Bull., 87: 825-829.
- Carr, M. y R. Stoiber, 1977, "Geologic setting of some destructive earthquakes in Central America", Geol. Soc. Am. Bull., 88: 151-156.
- Dewey, J. W. y S. T. Algermissen, 1974, "Seismicity of the Middle America arc-trench system near Managua, Nicaragua", Bull. Seism. Soc. A., 64. 1033-1048.
- Evernden, J. F., W. M. Kohler y G. D. Clow, 1981, "Seismic intensities of earthquakes of conterminous United States - their prediction and interpretation", U. S. Geol. Profess. Pap. 1223, 56 págs.
- Gutenberg, B. y C. F. Richter, 1954, "Seismicity of the earth and associated phenomena", Princeton University Press, Princeton, N. J., 310 págs.
- Gutenberg, B. y C. F. Richter, 1956, "Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration (second paper)", Bull. Seism. Soc. A., 46: 105-145.
- ICE-ELC, 1983, "Informe geo-vulcanológico, Proyecto Geotérmico Miravalles", 53 págs., 7 planos, Milano-Italia, Informe Interno.
- ICE-ELC, 1984, "Estudio geológico y estructural de detalle, Proyecto Geotérmico Miravalles", 37 págs., 2 planos, Milano-Italia, Informe Interno.
- ICE-ELC, 1986, "Informe geológico final. Proyecto Geotérmico Miravalles", 65 págs., 2 planos, Milano-Italia, Informe Interno.
- ICE-ENEL, 1988, "Estudios de reconocimiento y prefactibilidad geotérmica en la República de Costa Rica". Fase I. Estudio de reconocimiento, Informe parcial elaborado por el ICE, ENEL con la colaboración de ELC, Geotérmica Italiana y Geosystem. Pisa, Italia y San José, Costa Rica Informe Interno.
- Lay, T. y H. Kanamori, 1981, "An asperity model of large earthquake sequences", in Earthquake Prediction, an International Review, Maurice Ewing Series IV, edited by D. W. Simpson y P. G. Richards, pp. 579-592.
- Lay, T., H. Kanamori y L. Ruff, 1982, "The asperity model and the nature of large subduction zone earthquakes", Earth. Pred. Res., 1: 3-71.
- Leandro, G., López, A., Lezama, G. y Alvarado, G. E., 1988, "Síntesis de modelo geológico-geofísico del campo geotérmico Miravalles", Dirección de Planificación Eléctrica, Departamento de Geología, ICE, 24 págs. + figuras.
- Lezama, G., Alvarado, G. E. y Mainieri, A., 1988, "modelo geológico-geofísico de la parte sur del campo geotérmico de Miravalles", Dirección de Planificación Eléctrica, Departamento de Geología, ICE, 23 págs. + 63 láminas.

- Miyamura, S., 1980, "Sismicidad de Costa Rica", Editorial Universidad de Costa Rica, San José, 190 págs.
- Montero, W., 1983, "Aspectos sismológicos y tectónicos del Valle Central de Costa Rica", en el sistema fluvial de Tárcoles, Costa Rica", *Inst. Geogr. Nac./ CONICIT*, pp. 75-90.
- 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. Am. Central*, 5: 35-72.
- Montero, W. y J. W. Dewey, 1982, "Shallow-focus seismicity, composite focal mechanism, and tectonics of the Valle Central, Costa Rica", *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71: 1611-1626.
- Montero, W. y S. Miyamura, 1981, "Distribución de intensidades y estimación de los parámetros focales de los terremotos de Cartago de 1910, Costa Rica, América Central", *Inst. Geogr. Nac.*, Informe Semestral Julio-Diciembre, pp. 9-34.
- Mora, O., 1988. "Estudio geológico-petroológico de las piroclastitas en los alrededores de Bagaces, Provincia de Guanacaste", Tesis Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, 112 págs.
- Morales, L. D., 1985, "Las zonas sísmicas de Costa Rica y alrededores", *Rev. Geol. Am. Centr.*, 3: 69-101.
- Richter, C. F., 1958, "Elementary Seismology", W. H. Freeman and Co, San Francisco y Londres, 768 págs.
- Topozada, T. R., 1975, "Earthquake magnitude as a function of intensity data in California and Western Nevada", *Bull. Seism. Soc. Am.*, 65: 1223-1238.
- White, R. y D. Harlow, 1985, "Catalog of significant earthquakes of Central America since 1900", *Proceedings Symposium Historical Seismograms and Earthquakes*, Tokyo, Japan, pp. 453-459.
- Yoshida, A., 1988, "Migration of seismic activity along intraplate seismic belts in the Japanese islands", *Tectonophysics*, 145: 87-99.