

Zonificación Sísmica del Valle Central

Sism. Walter Montero P.
Escuela Centroamericana de
Geología y Centro de Investi-
gaciones Geofísicas
Red Sismológica Nacional (RSN)
Universidad de Costa Rica

Sism. Luis Diego Morales M.
Escuela Centroamericana de
Geología y Centro de Investi-
gaciones Geofísicas
Red Sismológica Nacional (RSN)
Universidad de Costa Rica

Resumen

Las áreas mesosísmicas de terremotos superficiales destructivos ocurridos en el Valle Central y alrededores entre 1841-1955, la sismicidad registrada entre 1974-1988, los lineamientos que muestran evidencias de sus fallas cuaternarias y la definición de las intensidades máximas registradas entre 1888-1988 en diferentes lugares de esta región, son utilizados conjuntamente para realizar una zonificación sísmica de la región central de Costa Rica. La zona comprendida entre Paraíso y el este del área metropolitana constituye la de más alto riesgo con aceleraciones medias de un 30% de la gravedad y con períodos de recurrencia de 40 a 70 años. Las fuentes sísmicas identificadas corresponden con áreas de singularidad en la función de distribución de la aceleración contemplada en las curvas de isoaceleración del código sísmico de Costa Rica.

Introducción

La zonificación sísmica de una región consiste en definir los niveles máximos del movimiento del terreno (generalmente aceleración, velocidad) que podrían experimentar las diferentes localidades los cuales son estimados sobre diversos períodos de tiempo. Lo anterior, por causa de la actividad de las diversas fuentes sísmicas que inciden regionalmente y considerando además sus características de atenuación. La región es entonces dividida en subáreas que presentan diferentes niveles de peligro sísmico. En Costa Rica, la zonificación sísmica que se utiliza para efecto de la construcción de las obras civiles, se basa en el análisis de riesgo sísmico de Mortgat y otros (1978). El Valle Central (en este estudio es la región comprendida entre $83^{\circ}40'$ - $84^{\circ}30'W$ y $9^{\circ}40'$ - $10^{\circ}10'N$, que incluye la depresión Central y las estribaciones norte de la Cordillera de Talamanca y la falda sur de la Cordillera Volcánica Central), históricamente ha sido afectado por terremotos de diversas fuentes sismogénicas, pero particularmente por los originados en desplazamientos asociados a un fallamiento local. Los hipocentros de estos eventos destructivos son corticales y tienen magnitudes entre 5.0 y 6.5 grados. La mayoría de estos terremotos del Valle Central, ocurridos en este siglo en las series sísmicas de 1910-1912 y 1951-1955 (Montero, 1983) no fueron localizados por la red mundial de estaciones sismológicas en el primer caso y en la segunda serie de eventos, no se determinó la magnitud y los hipocentros están sistemáticamente desplazados entre 30 y 50 km, en dirección noreste especialmente. De esta forma en el estudio de Mortgat y otros (1978) se utilizó un catálogo incompleto de temblores del Valle Central. Por consiguiente, el código sísmico vigente (CFIA, 1987) presentaría una posible subestimación de los parámetros que deben guiar la construcción de las obras civiles dentro del Valle Central. El objetivo de este estudio es presentar una zonificación sísmica preliminar del Valle Central, que se presenta como alternativa con los refinamientos que deberán introducirse paulatinamente, a la que actualmente es utilizada. La misma está fundamentalmente basada en los estudios de intensidades realizados para los terremotos del Valle Central ocurridos durante el siglo pasado y el actual (Montero, 1983; Montero y Miyamura, 1981; Montero en preparación; Morales et al, en prensa, Alvarado et al, 1988). Los valores de intensidad, a través de relaciones empíricas, se relacionan posteriormente con la aceleración; en términos de la cual se presenta la zonificación sísmica.

Sismicidad reciente del Valle Central

El Valle Central de Costa Rica es una zona de actividad sísmica permanente como resultado de la deformación interna de la Placa Caribe donde se genera un patrón de esfuerzos compresivos de dirección aproximada N a NNE (Montero y Morales, 1984; Montero y Morales en prensa) que será el responsable de un fallamiento local donde tiene lugar la liberación de energía sísmica de foco superficial ($h < 20$ km) y de pequeña a moderada magnitud ($5 \leq M \leq 6.5$), que ha alcanzado en el pasado características de terremotos (Cuadro 1).

La instalación de redes sismográficas permanentes a partir de 1974 y de arreglos sismográficos portátiles alrededor del Valle Central, nos ha permitido obtener y construir una valiosa base de datos sísmicos, con más de 1200 temblores, en su mayoría microtemblores ($M < 3$) localizados instrumentalmente en esta región durante los últimos quince años (1974-1988). figura 1.

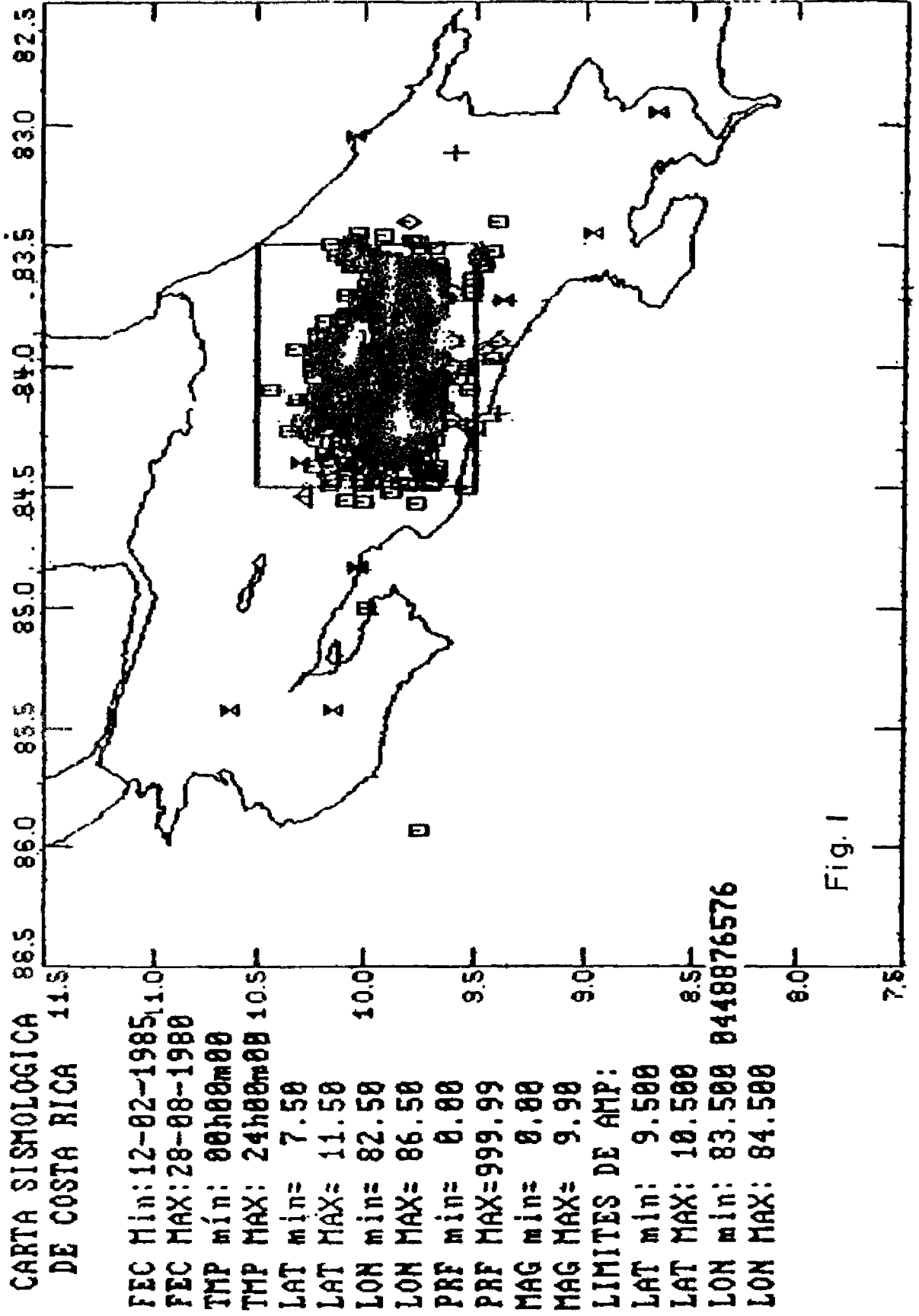
CUADRO 1

CATALOGO DE TEMBLORES DESTRUCTIVOS EN LA REGION DEL VALLE CENTRAL: 1800-1988

AÑO	MES	DIA	TIEMPO (GMT)	LAT	LONG	M	I	FUENTE SISMICA SUGERIDA
1841	Set.	02	12:30	9°50.5'	83°54.6'	5.8	VIII.-IX	Guarco**
1851	Mar.	28	13:15	10°11.7'	84°11.7'	5.5	VII	Alajuela (?)
1888	Dic.	30	10:12	10°8'	84°11.7'	5.8	VII-VIII	Alajuela
1905	Dic.	27	12:59	9°49'	84°02'	5.0	VII	Conejo
1910	Abr.	13	06:37	9°50.1'	84°01.6'	5.0	VII	Coris o Alumbre
1910	Abr.	13	07:05	9°50.1'	84°01.6'	5.2	VII-VIII	Coris o Alumbre
1910	May.	04*	18:47*	9°50.5'	83°54.6'	5.5	VIII-IX	Guarco
1911	Ago.	29	04:06	10°14'	84°18'	5.5	VII+	Aguas Zarcas-Viejo
1912	Feb.	21	08:20	9°52'	84°00'	5.0	VII	Coris
1912	Jun.	06	06:40	10°11.5'	84°16.5'	5.5	VII	Aguas Zarcas-Viejo -
1951	Ago.	21	05:41:33.8	9°48.5'	83°52.8'	5.0	VII	Agua Caliente- Orosi
1952	Dic.	30	12:07:03	10°01.5'	83°54.5'	5.5	VII	
1955	Set.	01	17:33:03	10°14'	84°19'	5.8	VIII	Aguas Zarcas-Viejo

* Indica la fecha y el tiempo reportado en hora local para el terremoto que destruyó Cartago en 1910

** Denominado por Montero y Miyamura (1981) falla Agua Caliente-Orosi. En este trabajo el segmento de falla WNW que pasa al sur del Valle de Cartago, se denominará Guarco y el segmento NW del borde SW del Valle de Orosi se denomina Orosi-Agua Caliente (figura 4).



Para dar una clara idea de la sismicidad en la parte más activa del Valle Central, la cual coincide con los principales centros de población y de infraestructura del país, se presenta en la figura 1 una ampliación del recuadro de la figura 1. Obsérvese la concentración de sismicidad al sur de las ciudades de San José y Cartago, y una actividad de menor grado pero significativa hacia el NE de San José y Norte de Cartago. La parte Norte y sobre todo el oeste del Valle Central, presentan el nivel de actividad sísmica más bajo.

Los patrones de sismicidad muestran una orientación general del NW-SE y del NE-SW, en correspondencia con los sistemas de fallas, fracturas y lineamientos cartografiados en la región Central del país (Denyer y Montero, 1988; Madrigal, 1988) y de los estudios de carácter sismotectónico realizados (Montero y Dewey, 1982; Montero y Morales, 1984; Montero y Morales, en prensa). La sismicidad reciente sin embargo, guarda poca relación con las fallas propuestas como responsables de los terremotos históricos (Fig. 3 y 4), a excepción quizás de la zona del Tablazo (al sur de San José), entre San Gabriel y Tobosí.

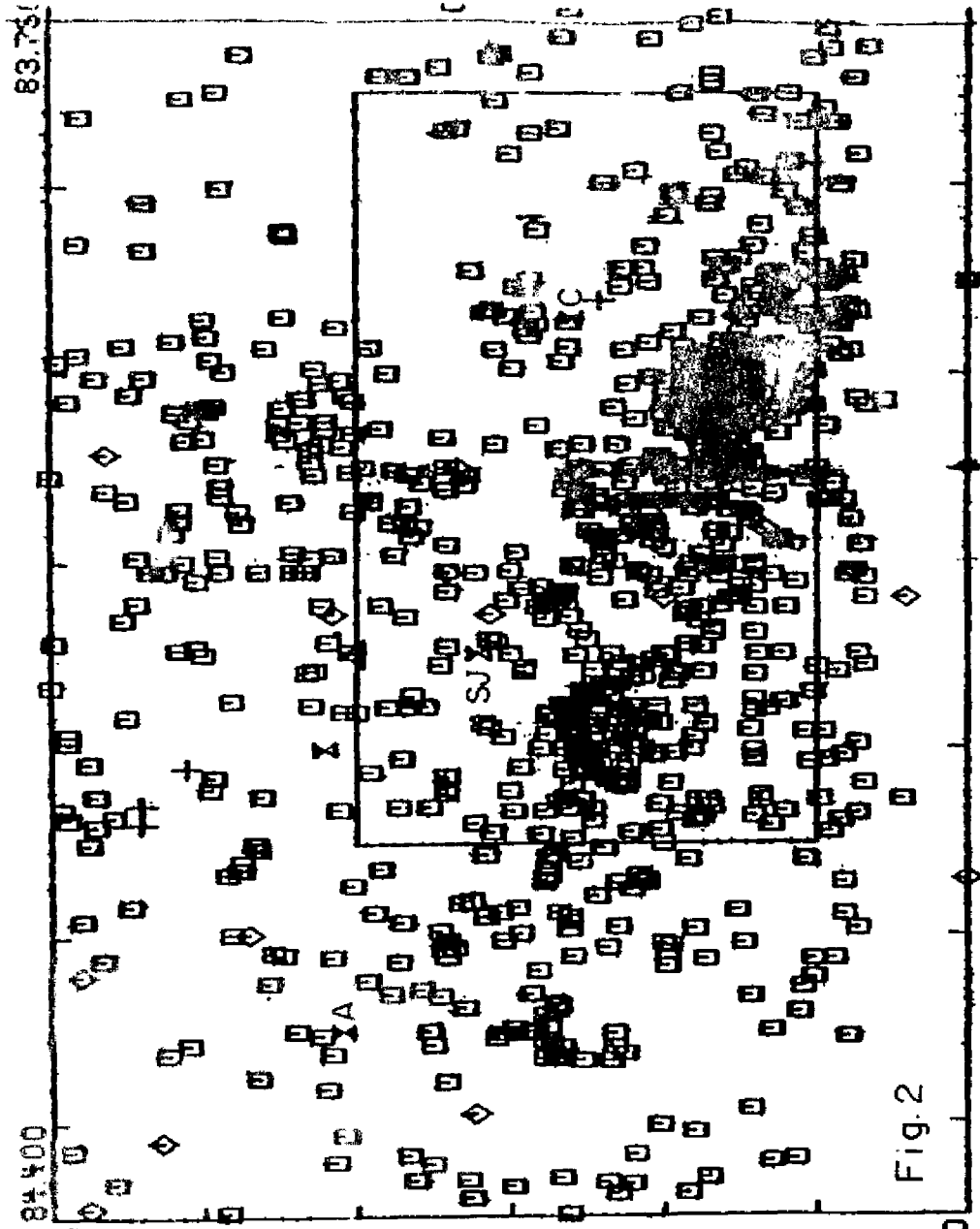
En el Valle Central la actividad sísmica está temporalmente concentrada, con temblores de carácter destructivo, foco superficial ($h < 20$ km) y magnitud moderada ($5.0 \leq M \leq 6.5$), entre períodos de relativa tranquilidad sísmica, con un período de recurrencia de 29.5 ± 9.9 años (Montero, 1986).

Durante los períodos de quietud sísmica, la actividad que se observa corresponde con una sismicidad de fondo, caracterizada por pequeños temblores o microtemblores, que tienden a ocurrir como eventos aislados o bien como enjambres, esto es, muchos temblores pero de baja magnitud ($M < 4$), concentrados en una determinada zona y que desaparecen rápidamente con el tiempo.

El fallamiento superficial del Valle Central y su relación con la sismicidad histórica

Las áreas mesosísmicas de los terremotos que ocurren dentro de áreas continentales, generalmente incluyen las fallas donde estos sismos se generan. Esto es especialmente cierto cuando los terremotos tienen foco somero. Sin embargo en ocasiones este no es el caso, afectando entre otros factores la distribución de poblados respecto a la fuente sismogénica. El Valle Central, desde tiempos históricos ha sido la región más poblada del país, y la distribución de poblaciones es tal, que frecuentemente estas se localizan cerca de alineamientos que sugieren fallas con actividad reciente. De esta forma, las áreas de daños de los terremotos históricos en algunos casos se han relacionado con una falla origen. En la figura 3 se muestran las áreas mesosísmicas (intensidades MM iguales o mayores a VII) de los terremotos ocurridos dentro del Valle Central, desde el terremoto destructivo de Cartago del 2 de setiembre de 1841 (Cuadro 1). Las áreas mesosísmicas han sido recopiladas de los trabajos de Montero y Miyamura (1981) para los terremotos de Cartago de 1910; Alvarado et al (1988) para los terremotos de Toro Amarillo de 1911, 1912 y 1955 y de Fraijanes de 1851 (?) y de 1888, esta última modificada por Morales et al (en prensa). Para los demás temblores del Cuadro 1 nos basamos en Montero (1983), con ligeras modificaciones. Cada uno de los temblores históricos tiene un epicentro macrosísmico asignado (Cuadro 1) según diversos criterios: 1) Centro de gravedad del área

MAPA EPICENTRAL AMPLIFICADO.



LIMITES DE AMP: 10.200 84.400 83.750

LAT min: 9.780
 LAT MAX: 10.000
 LON min: 83.800
 LON MAX: 84.200

SIMBOLOGIA:

MAG: <= 3.99 □
 MAG: 4.00-4.99 ◇
 MAG: 5.00-5.99 +
 MAG: 6.00-6.99 △
 MAG: 7.00-7.99 ▽
 MAG: >= 8.00 ⊙

SJ : San José
 C : Cartago
 A : Alajuela

Fig.2

08.600

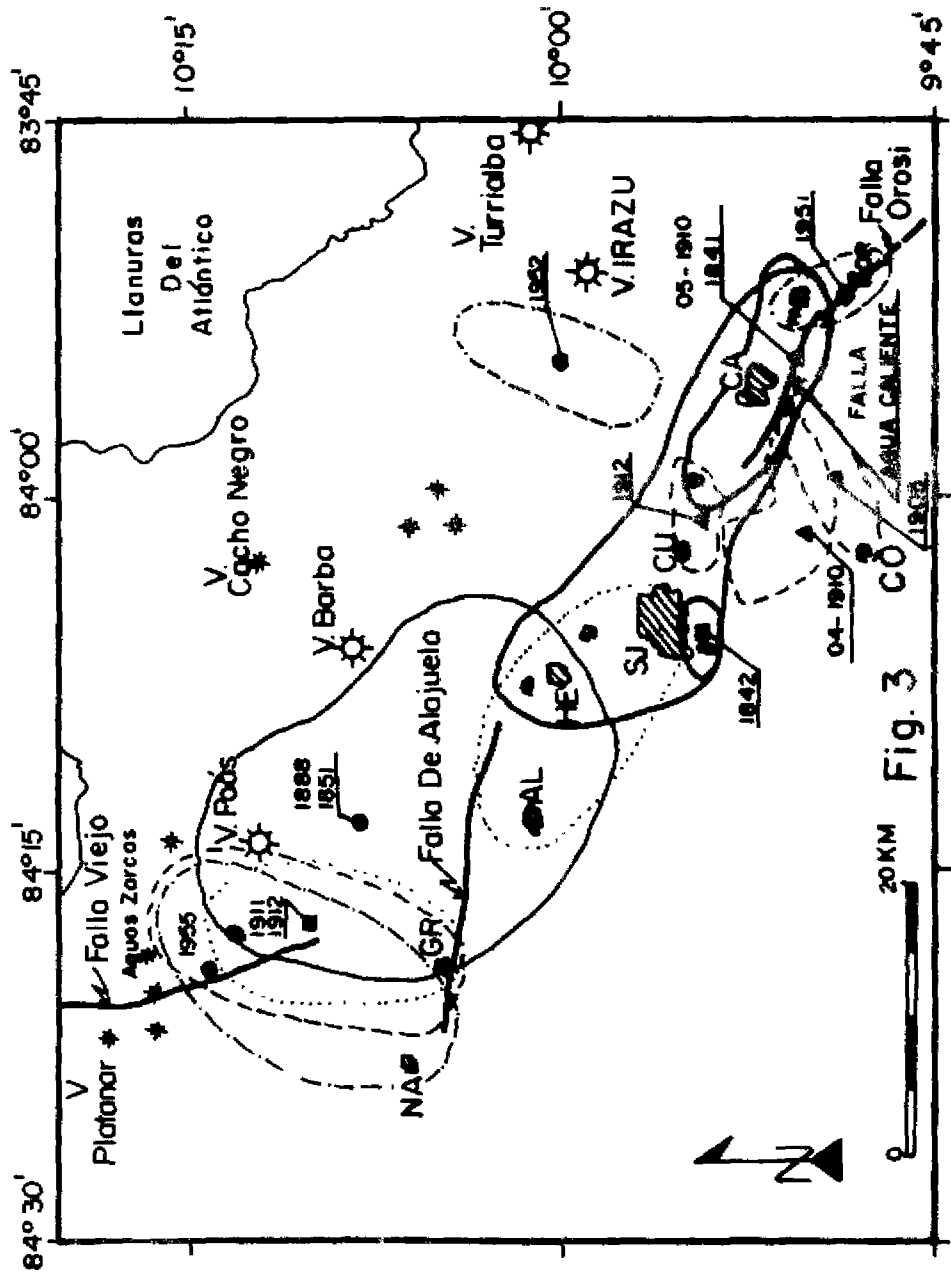


Fig. 3

mesosísmica, 2) Relación con una falla supuestamente activa en base a diversas evidencias. Además de la distribución de daños, 3) Relación con otro terremoto y de características similares pero mejor controlado en cuanto a su distribución de intensidades, 4) Diversas combinaciones de los criterios anteriores. En el cuadro 1 se incluye la fuente sismogénica que se considera es la probable fuente generadora del evento analizado.

Consideremos la forma de las áreas mesosísmicas que nos pueden sugerir características geométricas del tipo de fallamiento del Valle Central (figura 3). Se observa que las áreas de daños de los terremotos de Toro Amarillo de 1911, 1912 y 1955 están elongadas en dirección nornoreste en sentido transversal al eje de la Cordillera Volcánica Central. Una elongación similar tiene el terremoto de Patillos de 1952. Lo anterior podría indicar que estos terremotos se originaron en un fallamiento de alto ángulo, transversal a la dirección axial de rumbo WNW, de los principales edificios volcánicos cuaternarios. Efectivamente, Alvarado et al (1988) sugieren este tipo de fallamiento, como origen de los terremotos de Toro Amarillo (Falla Vieja-Aguas Zarcas, figura 3). Los terremotos de 1851 y más seguramente el de 1888, se diferencian de los restantes eventos destructivos de la Cordillera Volcánica Central, por mostrar un área de daños amplia, sugiriendo una fuente extendida horizontalmente. Esto está de acuerdo con Alvarado et al (1988) y Morales et al (en prensa) quienes proponen que estos eventos se originaron en la falla de Alajuela, la cual, de acuerdo a Borgia et al (1987) sería una falla de bajo ángulo.

Los terremotos ocurridos entre San José-Cartago y Orosí; muestran áreas mesosísmicas elongadas; sugiriendo el origen de estos eventos un fallamiento de fuerte ángulo. La dirección de elongación es variada entre los diversos temblores. Los temblores de mayor magnitud, que corresponden con los terremotos de Cartago de 1841 y del 4 de mayo de 1910, tienen elongada el área de daños en dirección WNW. El terremoto de Paraíso de 1951 al NW y el de Tres Ríos de 1912, con rumbo W. Esta parece ser clara, la elongación principal para el terremoto del Tablazo del 13 de abril de 1910. El terremoto de Corralillos de 1905, sugiere una elongación NE, diferente de las anteriores.

Los epicentros macrosísmicos de los terremotos históricos (Cuadro 1), se han ubicado en un mapa de lineamientos del Valle Central, que está basado en Madrigal (1988). Los lineamientos colocados son aquellos que por evidencias geomorfológicas y en otros casos geológicas, representan fallas con probable actividad cuaternaria o más reciente (figura 4). También se ha incluido los epicentros de los temblores superficiales detectados entre julio de 1976 y diciembre de 1986, por la Red Sismológica Nacional (RSN), de acuerdo a Denyer y Montero (1988). La figura 4 muestra claramente como los terremotos históricos y la sismicidad han ocurrido, especialmente en regiones con un fallamiento cuaternario desarrollado extensamente. Estos son los casos de las regiones sur de San José y Cartago y norte de Alajuela.

El origen del fallamiento reciente de las estribaciones norte de la Cordillera de Talamanca no es claro, aunque parcialmente debe su origen al levantamiento que se presenta en la región central de Costa Rica (Miyamura, 1975) y especialmente en esta cordillera (Madrigal, 1977; Kessel y Spicer, 1985). La posible existencia de una zona de cizalle, transversal a la cordillera, ha sido sugerido por Montero y Dewey (1982) como posible explicación al origen de la sismicidad de esta región. El fallamiento transversal de la

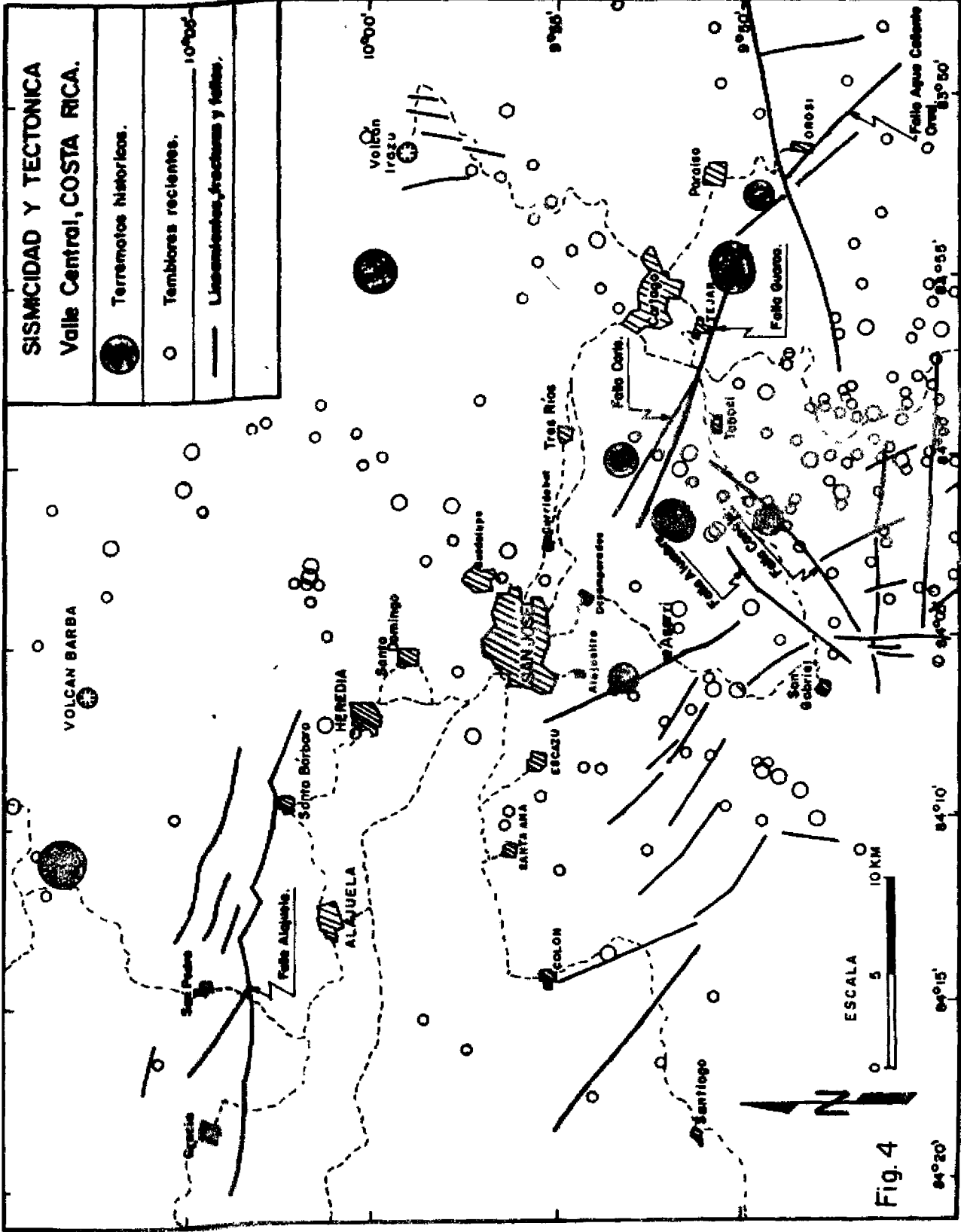


Fig. 4

Cordillera Volcánica Central es similar al de la Cordillera Volcánica Centroamericana (Carr, 1976). El origen de este fallamiento ha sido debatido entre diversos autores (Carr, 1976; Harlow y White, 1985; Dewey y Algermissen, 1974). Borgia et al (1987) proponen que en Costa Rica, la Cordillera Volcánica Central, esta en proceso de extensión. Este proceso generaría fallas de bajo ángulo de rumbo paralelo a los flancos de la cordillera (p.e. Falla de Alajuela). Sugerimos que el fallamiento transversal se asocia a este proceso, permitiendo la extensión entre los bordes donde este es activo. Dewey y Algermissen (1974) sugirieron que el movimiento dextral asociado al terremoto de Managua, Nicaragua, del 23 de diciembre de 1972 ($M_s = 6.2$) tuvo origen similar.

Intensidades máximas dentro del Valle Central 1888-1988

La superposición e integración de las isosistas de los terremotos ocurridos dentro del Valle Central en el período 1888-1988, incluyendo el terremoto del 4 de marzo de 1924 ($M_s = 7.0$), cuyo epicentro se ubica al oeste del área estudiada, permite la definición de las intensidades máximas que han sido experimentadas por diferentes regiones del Valle Central durante un siglo de actividad sísmica relacionado al fallamiento superficial intraplaca (figura 5). Con escasas excepciones, en esta figura se presentan las máximas intensidades registradas en diferentes localidades del Valle Central, incluyendo los temblores interplaca que se originan en el margen Pacífico de Costa Rica, durante el período estudiado. Lo anterior considerando que los temblores de subducción ocurridos entre 1888-1988, no han sido generalmente dañinos dentro de la región del Valle Central. Esta aseveración no es válida si se considera un período más extenso, porque se incluirían eventos como el del 7 de mayo de 1822 que fue altamente destructivo, especialmente en el sector centro este del Valle Central (Montero, 1986). La figura 5 ha sido modificada respecto a la originalmente presentada por Montero (1983) con el fin de cubrir un período de 100 años. Los temblores incluidos son los que se presentan en el cuadro 1. El patrón de máximas intensidades esta controlado en el sector oeste, suroeste y central, incluyendo la capital San José, por las isosistas determinadas para el terremoto de 1924 (Montero, en preparación). Relacionados a este evento, en la región oeste se presentaron intensidades MM de IX y X grados, que fueron además las más altas observadas durante el período considerado. En el sector norte, las máximas intensidades han sido generadas por los eventos con foco dentro de la cordillera volcánica Central (terremotos de Toro Amarillo de 1911, 1912 y 1955, terremotos de Fraijanes de 1888 y terremoto de Patillos de 1952). La región de Cartago y alrededores, muestran isocintas de máxima intensidad que resultan de la superposición de los isosistas de los terremotos de Cartago de 1910, de Tres Ríos de 1912 y de Paraíso de 1951. El borde este del Valle Central, muestra que las intensidades MM máximas registradas son de V grados, siendo la intensidad máxima menor observada en la región del Valle Central. La figura 5 en general muestra una tendencia general, a un decaimiento progresivo de las máximas intensidades del oeste hacia el este del área estudiada. Las excepciones son las áreas mesosísmicas que corresponden con el terremoto de Fraijanes de 1888 y de Cartago del 4 de mayo de 1910. También se observan especialmente en el sector oeste del área estudiada, poblaciones donde la intensidad MM es mayor o menor por un grado respecto a las regiones circundantes. Estas variaciones de la intensidad resultaron del terremoto de 1924. Las intensidades encerradas por las isocintas de la figura corresponden a valores promedio. Localmente factores como el tipo de suelo, pueden aumentar o disminuir la intensidad, pero solo a través de

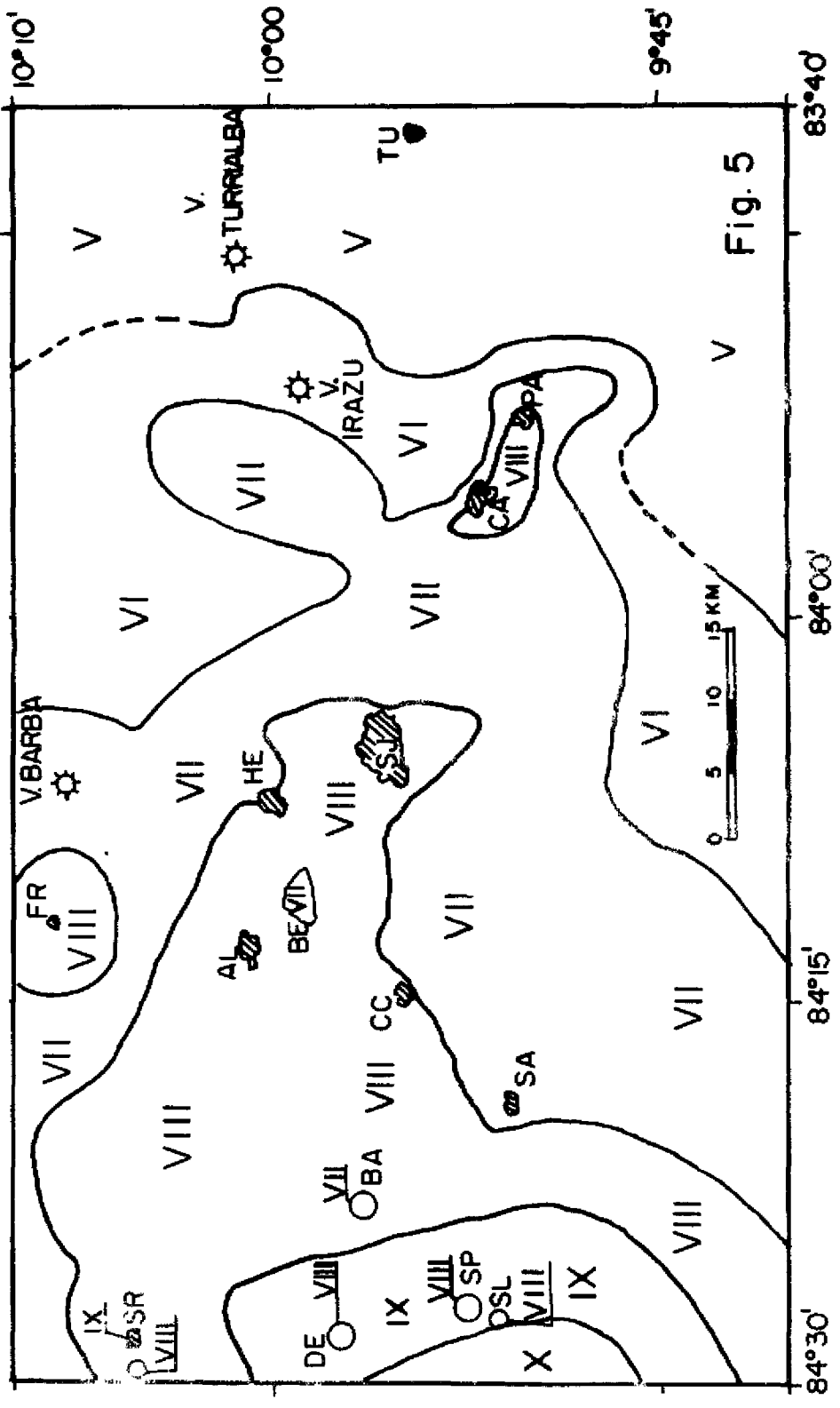


Fig. 5

microzonificaciones sísmicas o por la ocurrencia de eventos destructivos detalladamente estudiados, es posible reconocer tales variaciones locales en la intensidad.

Algunas de las regiones que se muestran en la figura 5 fueron afectadas por intensidades dañinas más de una vez, durante el período estudiado. Este es el caso de la región comprendida entre Sarchí y de Toro Anarillo que fue afectada por cinco eventos con intensidades MM VII o superior (terremotos de 1888, 1911, 1912, 1924 y 1955). Este también es el caso de Paraíso (terremoto del 4 de mayo de 1910, intensidad MM VIII y terremoto de 1951, intensidad MM VII). Para definir adecuadamente estas subregiones que muestran un peligro sísmico mayor, se hace necesario realizar una zonificación sísmica, en la cual se pueda estimar los diferentes períodos de retorno de aceleraciones que provocarían daños en las diversas localidades, lo cual no se puede deducir de la figura y por lo que se requiere entonces un tratamiento diferente.

Zonificación sísmica del Valle Central

El conocimiento de la sismicidad histórica y reciente, incluyendo los patrones de isosistas de los temblores destructivos, así como del ambiente geológico-tectónico del Valle Central, permite delinear en base a criterios determinísticos y estadísticos, zonas de mayor o menor peligro sísmico. En base a las consideraciones anteriores, si superponemos a la misma escala las figuras que representan la sismicidad histórica reciente las estructuras y condiciones geológicas de la zona en estudio, junto con las intensidades resultantes en base a los temblores destructivos, y sus períodos de recurrencia, podemos delimitar zonas de diferentes riesgos, incluyendo en base a relaciones empíricas de intensidad-aceleración (Sauter 1985; Trifunac y Brady, 1975), el porcentaje de aceleración media en cada zona.

La figura 6 muestra las diferentes zonas obtenidas, con el rango de variación esperado en la aceleración y su período de recurrencia estimado. Debe recordarse que las fuentes sísmicas locales aunque de magnitud moderada, pueden generar en el campo cercano, aceleraciones superiores al 50% de la gravedad (Bolt, 1978; Brune, 1975). También debe destacarse el efecto que el mecanismo de ruptura de la fuente sísmica tiene en el patrón de radiación de la energía, así como los efectos de atenuación de la energía con la distancia y los problemas de enfocamiento y distorsión que proporcionan los relieves topográficos y las características del suelo que pueden producir amplificaciones o atenuaciones de la energía sísmica, más los problemas de interacción suelo-estructura, duración y período de la sacudida, aunado a las características del emplazamiento, diseño y construcción de la obra, todo lo cual debería tomarse en cuenta para una buena evaluación de los efectos a esperarse en el sitio previsto y la aceleración probable sobre la estructura. Lo anterior requerirá de estudios de microzonificación, lo cual está fuera de nuestro presente objetivo, así como datos de sismógrafos para movimientos fuertes acelerógrafos para conocer los datos reales de aceleración y obtener así las curvas de atenuación para una fuente y un sitio determinados.

Las fuentes sísmicas intraplaca del Valle Central, no han sido consideradas en el estudio de riesgo sísmico para Costa Rica (Mortgat et al, 1977), ni en el nuevo código sísmico de Costa Rica (CFIA, 1987), por lo cual debe tenerse mucha cautela a la hora de interpolar y obtener datos entre curvas de isoaceleración que cruzan o cortan por zonas que representan una "singularidad sísmica" para la función de aceleración y en donde los valores de aceleración alcanzan valores mucho más alto y con un período de recurrencia más corto que los considerados en el código. A manera de referencia se indican en la figura 6, con línea a trazos las curvas de isoaceleración de 17.5% y 30% para un período de retorno de 100 y 500 años respectivamente, según lo establece el nuevo código sísmico de Costa Rica (CFIA, 1987).

Conclusiones:

1-La zona sur de San José y Cartago es la región del Valle Central que presenta la mayor sismicidad de fondo. En la región norte del Valle Central, la actividad sísmica es más esporádica, con algunas secuencias de enjambres. Destacan en esta zona, la sismicidad al noreste de San José y al Norte de Cartago.

2-Se observa una correspondencia entre los lineamientos que probablemente son fallas recientes, las fuentes sísmicas históricas y la sismicidad reciente. Caso de las fallas Orosi-Agua Caliente y El Guarco, así como el alineamiento sísmico NE comprendido entre San Gabriel-Tobosi y Tres Ríos (Fig. 4). La falla

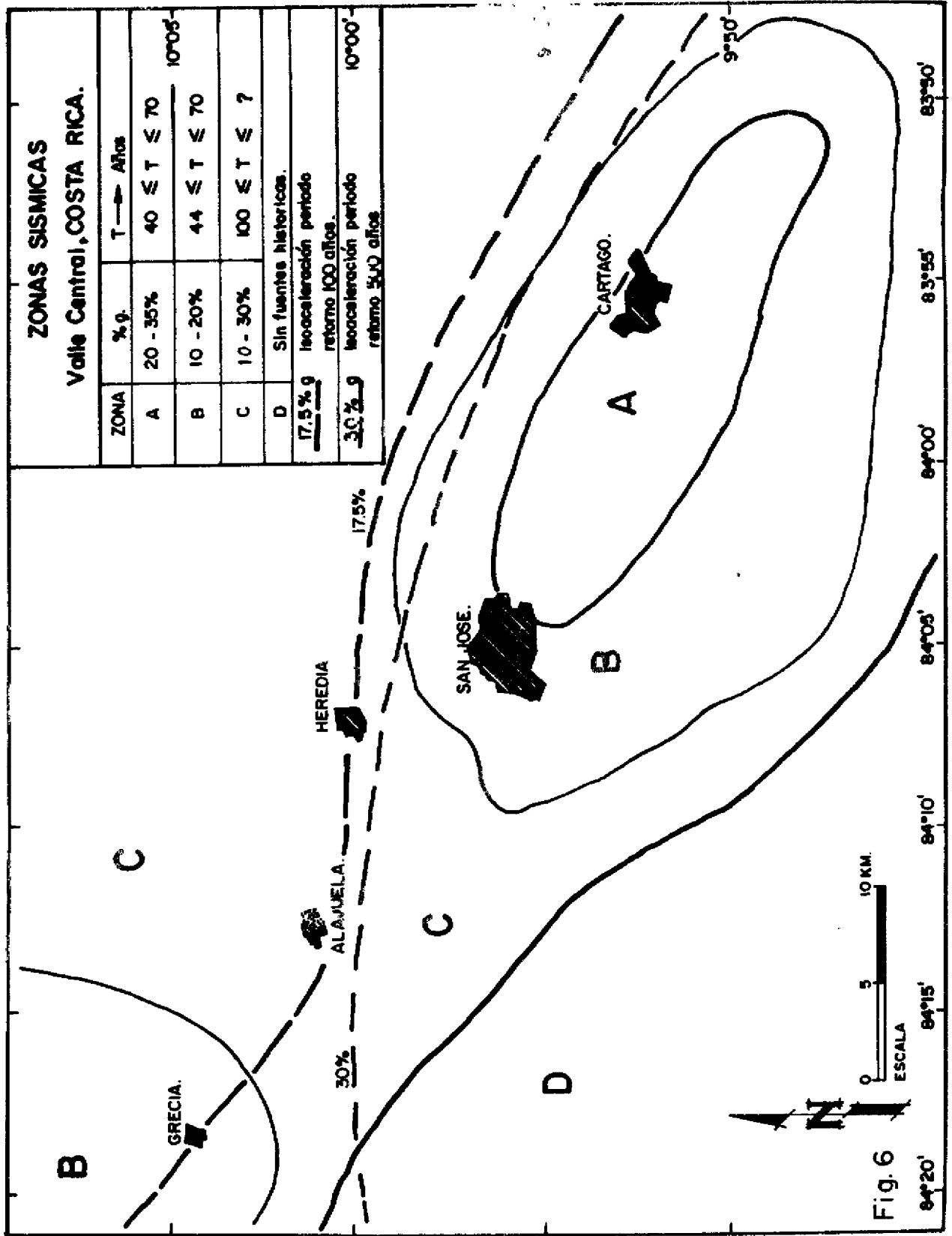


Fig. 6

cuaternaria de Alajuela muestra quietud en la sismicidad reciente.

3-Las áreas mesosísmicas de los terremotos destructivos ($5.0 < M < 6.5$) ocurridos entre 1841-1955, indican que los daños han estado concentrados entre San José - Cartago y Paraíso y Orosi por un lado y, la región de Toro Amarillo Sarchí, Grecia y norte de Alajuela. La fuente sísmica de Patillos de 1952, en la falda noroeste del Volcán Irazú es la única que se localiza fuera de las regiones anteriores.

4-Aunque la región oeste del Valle Central no presenta fuentes sísmicas históricas destructivas y su sismicidad reciente es mínima, ha sido sacudida por intensidades M_I de X grados. Lo anterior por causa del terremoto del 4 de marzo de 1924 ($M_s=7.0$) en la región epicentral de Orotina.

5- Utilizando e interpretando datos sísmicos, áreas afectadas por terremotos y las características geológico-tectónicas del Valle Central, proponemos una zonificación preliminar y de carácter general, en donde los valores de aceleración propuestos y los periodos de recurrencia son en general mayores que los considerados por los mapas de isoaceleraciones del código sísmico de Costa Rica (CFIA, 1987), siendo las zonas propuestas y las fuentes sísmicas en general "singularidades" para dichas curvas de isoaceleración.

RECONOCIMIENTOS

A los geólogos, Wilfredo Rojas y Mario Fernández por su permanente colaboración en la recopilación de datos y dibujo de algunas figuras. Al geólogo Guillermo Avila, quien desarrolló e implementó el programa para el manejo de la base de datos. La Red Sismológica Nacional, ICE-UCR; el OVSICORI-UNA, y las secciones de sismología del ICE y de la UCR, contribuyeron con su información para la base de datos sísmicos del Valle Central.

Este trabajo forma parte de las actividades del proyecto MIRVYS-CNE, y del proyecto V.I. 113-86-057 de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, de quienes ha recibido financiamiento y apoyo logístico.

Referencias:

- Alvarado, G.; L.D. Morales, W. Montero, A. Clemente y W. Rojas (1988). Aspectos sísmológicos y morfotectónicos en el extremo occidental de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica, Revista Geológica de América Central, No.9, p.75-98.
- Bolt, B.A. (1978). Earthquakes, a primer, Editorial Freeman, San Francisco, 241 p.
- Borgia, A.J. Burr, W. Montero, L.D. Morales y G. Alvarado (1987). Is the Central volcanic range extending? EOS, 16:406, p.68.
- Brune, J.N. (1976). The physics of earthquakes and strorgmotion. In seismic risk and Engineering decisiones, Lomnitz y Rosenblueth, Editores, Elsevier, Amsterdam, p.141-177.
- Carr, M.J. (1976). Underthrusting and Quaternary faulting in Central America, Geological Society of America Bulletin, V. 87, p.825-829.
- CFIA y Gutiérrez, J. (1987). Código sísmico de Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica, 104p.
- Denyer, P. y Walter Montero (1988). Mapa geo-estructural y sismos del Valle Central - Costa Rica, escala 1:150000. Instituto Geográfico Nacional.
- Dewey, J.W. y S.T. Algenmissen (1974). Seismicity of the middle America arc-trench system near Managua, Nicaragua, Seismological Society of America Bulletin, V. 64 p. 1033-1048.
- Harlow, D.H. y R.A. White (1985). Shallow earthquakes along the volcanic chain in Central America: Evidence for oblique subduction? (Abs). Earthquake Notes (Eastern Section of the Seismological Society of America) V. 56, p.28.
- Kessel, R.H. y B.E. Spicer (1985). Geomorphologic relationships and ages of soils on alluvial fans in the Rio General Valley, Costa Rica, CATENA, V.12 p.149-166.
- Madrigal, R. (1977). Evidencias geomórficas de movimientos tectónicos recientes en el Valle del General, Ciencia y Tecnología, Universidad de Costa Rica, V. 1, p. 97-108.
- Madrigal, R. (1988). Informe sobre lineamientos del Valle Central y alrededores, Inédito, 12 p.
- Miyamura, S. (1975). Recent crustal movements in Costa Rica disclosed by levelling surveys, Tectonophysics, V. 29, p. 191-198.
- Montero, W. (1983). Aspectos sísmológicos y tectónicos del Valle Central de Costa Rica, En: El Sistema Fluvial de Tárcoles, Costa Rica, Instituto Geográfico Nacional-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tectonológicas, p. 75-86.

Montero, W. (1986). Períodos de recurrencia y tipos de secuencias sísmicas de los temblores interplaca e intraplaca en la región de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, No. 5, p. 35-72.

Montero, W. (1986). El terremoto de San Estanislao del 7 de mayo de 1822. ¿Un gran temblor de subducción del sur de Costa Rica? *Ciencia y Tecnología*, V. 10, No.2, p.11-20.

Montero, W. (en preparación). Estudio de intensidades y parámetros focales del terremoto del 4 de marzo de 1924.

Montero, W. y J.W. Dewey (1982). Shallow-focus seismicity, composite focal mechanism, and tectonics of the Valle Central de Costa Rica, *Seismological Society of America Bulletin*, V. 72, p.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 Informe Semestral Julio-Diciembre*, Instituto Geográfico Nacional, p. 9-34.

Montero, W. y L.D. Morales (1984). Sismotectónica y niveles de actividad de microtemblores en el suroeste del Valle Central, Costa Rica, *Revista Geofísica*, No. 21, p. 21-41.

Montero, W. y L.D. Morales (en prensa). Deformación y esfuerzos neotectónicos en Costa Rica, *Libro de Geología de Costa Rica*, Editorial Universidad de Costa Rica.

Morales, L.D. y W. Montero y R. Madrigal (en prensa). El terremoto de Fraijanes de 1888 y el sistema de fallas de Alajuela. Implicaciones del peligro sísmico potencial para el Valle Central, *Revista Geográfica de América Central*.

Sauter, F. (1985). El riesgo sísmico en la perspectiva del consultor. III Congreso de Ingeniería Civil, CFIA, 21p.

Trifunac, M.D. y A.G. Brady (1975). On the correlation of seismic intensity scales with peaks of recorded strong ground motions-*Seismological Society of America Bulletin*, V. 65. p. 139-162.

Se terminó de imprimir en la Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica en el mes de febrero de 1989. Su edición consta de 200 ejemplares.

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San José, Costa Rica.