

PERIODOS DE RECURRENCIA Y TIPOS DE SECUENCIAS SISMICAS DE LOS
TEMBLORES INTERPLACA E INTRAPLACA EN LA REGION DE COSTA RICA

Walter Montero P.
Escuela Centroamericana de Geología
2060 Universidad de Costa Rica
Apartado 35
Costa Rica, Centro América

ABSTRACT

The recurrence periods (T) of large earthquake ($M_s \geq 6.75$), shallow ($h < 60$ km) with occurred between 1800-1985 in the border between the Cocos and the Caribbean plate in the Costa Rican region, have been determined for the seismic zone of Osa ($T = 30.0 \pm 11.5$ years) and Nicoya ($T = 21.6 \pm 11.8$ years). In the seismic zone of Quepos and Papagayo, which complete the subduction front of this region, it could not be estimated a confidence recurrence period. In the same way, it has been estimated the recurrence period for the seismic zone that develops as a result of the internal deformation in the Caribbean plate, in the Costa Rica region and specially into the inner arc Arenal zone ($T = 60 \pm 2.8$ years) and in the Valle Central ($T = 29.5 \pm 9.9$ years).

Three different types of seismic sequences have been identified along the convergent margin of Costa Rica: 1) Isolated interplate events; 2) Single seismic sequences, with two or more main events that occurs in a five years periods and 3) Double seismic sequences that correspond to two single seismic sequences, separated by an approximate period of 10 years. In this last sequence, two ruptures are generally originated in the Nicoya seismic zone. As a result of the identification of this last type of seismic pattern, there is a probability that the single seismic sequence initiated with two events in August 23, 1978 (both with, $M_s = 7.0$), and one on April 3, 1983 ($M_s = 7.2$), could be completed in the next 10 years with a second seismic sequence represented by a double seismic pattern, including a new rupture in the Nicoya seismic zone.

RESUMEN

Los períodos de recurrencia (T) de los temblores mayores ($M_s \geq 6.75$), superficiales ($h < 60$ km) ocurridos entre 1800-1985 en el límite entre las placas del Coco y del Caribe en la región de Costa Rica, se han determinado para las zonas sísmicas de Osa ($T \approx 30.0 \pm 11.5$ años) y de Nicoya ($T \approx 21.6 \pm 11.8$ años). Para las zonas sísmicas de Quepos y de Papagayo que completan el frente de subducción en esta región, no pudo ser estimado un período de recurrencia confiable. De igual forma, se han estimado los períodos de recurrencia para las zonas sísmicas que se presentan como resultado de la deformación interna dentro de la placa Caribe en la región de Costa Rica y especialmente dentro del arco interno en la zona de Arenal ($T \approx 60.0 \pm 2.8$ años) y en el Valle Central ($T \approx 29.5 \pm 9.9$ años).

Tres tipos de secuencias sísmicas han sido identificadas a lo largo del margen convergente de Costa Rica: 1) Eventos interplacas aislados; 2) Secuencias sísmicas sencillas con dos o más eventos mayores que ocurren dentro de un período de 5 años y 3) Secuencias sísmicas dobles que corresponden a dos secuencias sísmicas sencillas separadas por un período del orden de 10 años. En esta última generalmente se originan dos rupturas en la zona sísmica de Nicoya. Debido a la identificación del último tipo de patrón sísmico, existe la probabilidad que la secuencia sísmica sencilla iniciada con dos eventos el 23 de agosto de 1978 (ambos $M_s = 7.0$), y el del 13 de abril de 1983 ($M_s = 7.2$) podría completarse en los próximos 10 años con una segunda secuencia sísmica constituyéndose en un patrón sísmico doble, incluyendo una nueva ruptura en la zona sísmica de Nicoya.

INTRODUCCION

El grado de actividad de las diversas fuentes sísmicas de una región y la ubicación de las obras humanas en relación a éstas, es lo que define el peligro sísmico de una determinada área. Al estudiar los catálogos históricos de terremotos de un país, observamos que la actividad puede ser estimada únicamente en los rangos de mayor magnitud, y la confianza de las estimaciones depende de factores diversos como son entre otros, la distribución geográfica de las poblaciones a través del tiempo y el período de tiempo cubierto por los archivos históricos. En el caso de Costa Rica, la fecha de recurrencia de los eventos mayores y en algunos casos su ubicación puede ser realizada para el Siglo XIX a partir del trabajo de González (1910). En el presente siglo además de las fechas de ocurrencia de los principales eventos, podemos realizar una adecuada separación de

los eventos mayores que se han generado en las diversas fuentes sísmicas. Lo anterior nos permite separar confiablemente la sismicidad interplaca de la intraplaca para el actual siglo y menos seguramente para el Siglo XIX, además en algunos casos es posible lograr estimaciones de los periodos de recurrencia de ciertas zonas sismogénicas del país, tal como ha sido realizado por Montero (1983) para el Valle Central y por Morales y Montero (1984) para la región de Golfito. En este trabajo se identificarán los tipos de secuencias sísmicas del margen convergente de Costa Rica, y se realizarán las estimaciones de recurrencia de eventos mayores de esta región y de las fuentes intraplaca especialmente del arco interno del país. Finalmente se analiza el potencial sísmico actualmente existente a lo largo del margen convergente de Costa Rica.

CARACTERISTICAS SIMOLOGICAS Y TECTONICAS DEL AREA DE COSTA RICA

Generalidades:

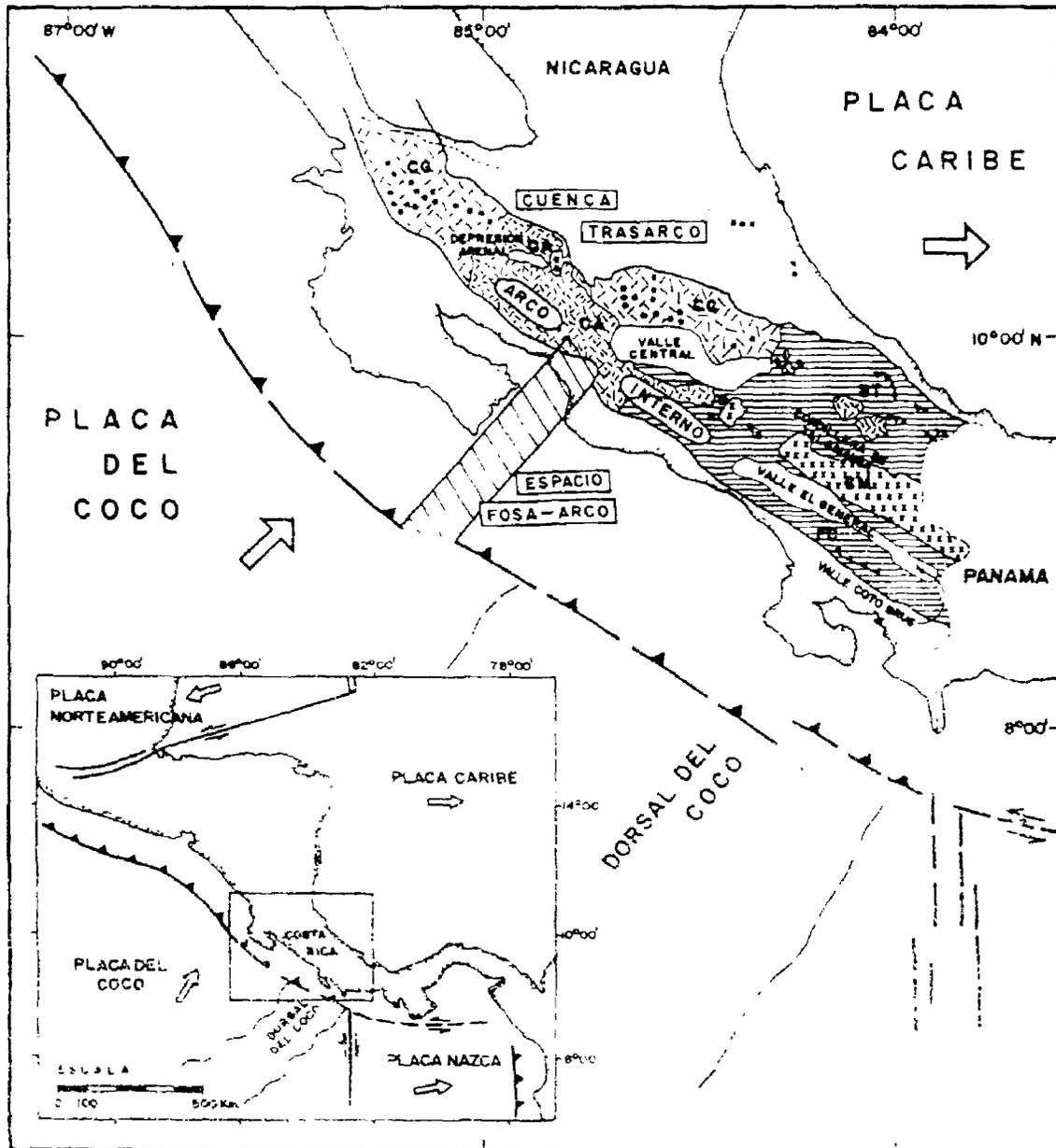
Costa Rica se localiza en el extremo sureste de la zona de subducción entre las placas del Coco y del Caribe (Fig. 1). Como resultado de esta interacción se origina una zona sísmica inclinada hacia el noreste y que además se encuentra segmentada bajo la península de Nicoya (Burbach y otros, 1984) por lo cual cambia su perfil sísmico al pasar de la región noroeste del país (donde los temblores alcanzan hasta 200 km de profundidad) a la región sureste donde las profundidades son generalmente menores a 120 km (Burbach y otros, 1984; Guendel, 1985). El cambio de carácter del perfil sísmológico debe estar relacionado con el proceso de subducción de la dorsal asísmica del Coco (Fig. 1) en la región sureste del país (Vogt et al., 1976), el cual además debe provocar un fuerte acoplamiento entre las placas que incluso podría llevar a la terminación de la subducción en esta zona y el traslado del punto triple Coco-Nazca-Caribe de su actual ubicación en los 83°W a los 85°W como fue originalmente sugerido por Van Andel et al. (1971). Por otro lado, la región noroeste del país como el resto del margen pacífico de Centroamérica presenta una subducción sin acreción, que llevó a Aubouin et al.

(1984) a proponer un nuevo tipo de margen activo que denominaron convergente-extensional. En cualquier caso, el proceso de convergencia de placas a lo largo del margen pacífico de Costa Rica origina temblores interplaca con profundidades de hasta 60 km y con magnitudes para los eventos mayores que alcanzan hasta 8.0 (M_s).

Al interior del país a lo largo del eje montañoso se originan temblores de magnitud moderada, originados en fallas locales localizadas en los bordes de las Cordilleras o dentro de éstas y que denominamos intraplaca. Estos temblores han sido especialmente dañinos a través de la historia de Costa Rica, por lo cual se constituyen en la fuente de mayor peligro sísmico en el área del arco interno (Fig. 1), el cual corresponde con un arco plutónico-volcánico que incluye en algunas regiones secuencias sedimentarias con diferentes grados de deformación. El arco interno se puede subdividir en una serie de elementos estructurales como son el cinturón volcánico Cuaternario (Cordillera Volcánica de Guanacaste y la Cordillera Volcánica Central), el cinturón volcánico-intrusivo del Aguacate (Cordilleras de Tilarán, Abangares Miramar y Aguacate) y la Cordillera de Talamanca que incluye el eje magmático central y las regiones aledañas de la zona de empuje-plegamiento de la Baja Talamanca y la faja de sobrecorrimientos de la Fila Costeña, éstos últimos de naturaleza fundamentalmente sedimentaria. Cuencas intraarco de diversos orígenes pueden ser ejemplificadas a lo largo del arco interno como son la depresión de Arenal, el Valle Central y el Valle de El General y de

Figura 1: Principales elementos morfotectónicos de la región de Costa Rica y alrededores (basada en Weyl, 1980). Se muestra la zona de segmentación en el espacio fosa-arco por dos líneas paralelas cruzadas por líneas cortas. En el arco interno las estrellas señalan los volcanes cuaternarios. CG es Cordillera Volcánica Cuaternaria de Guanacaste; CA es el cinturón volcánico intrusivo del Aguacate; CC es la Cordillera Volcánica Central; BT es la zona de empuje-plegamiento de la Baja Talamanca; CM corresponde con el cinturón magmático central de la Cordillera de Talamanca y FC es la Fila Costeña. En el recuadro se muestra la situación de Costa Rica en el contexto geotectónico regional. Flechas sin rellenar señalan la dirección de movimiento relativo de las placas. La línea gruesa con triángulos señala la zona de inicio de la subducción de la placa del Coco bajo la del Caribe

PERIODOS DE RECURRENCIA Y SECUENCIAS SISMICAS



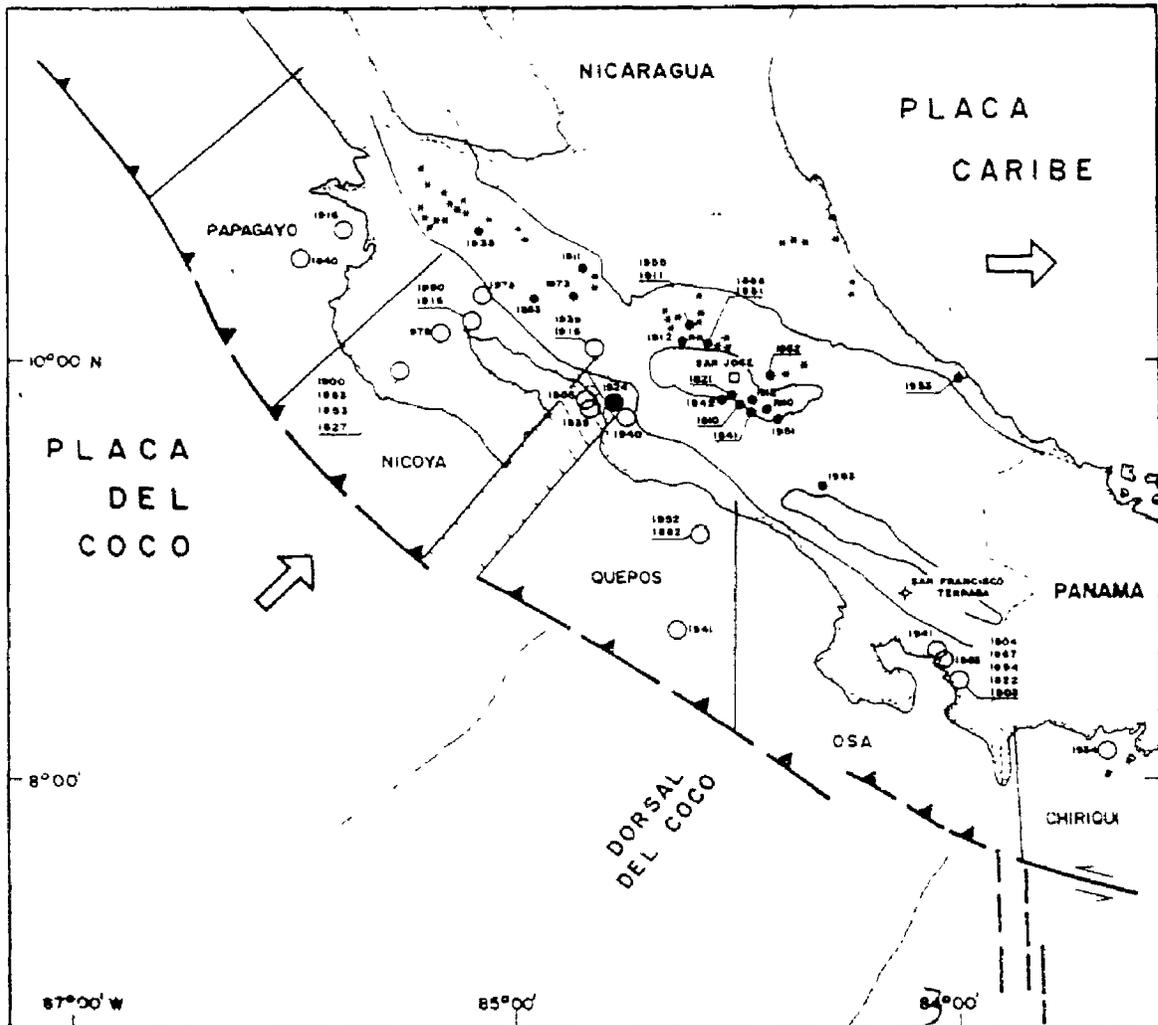
Coto Brus (Fig. 1 y Mora, 1981).

En este trabajo seguiremos la zonificación sísmica realizada por Morales (1985) para Costa Rica tanto para la zona de convergencia de placas como para la región del arco interno (Fig. 2).

DATOS Y METODOS DE ANALISIS

El estudio que adelante se presenta se basa como primera fuente de información en las recopilaciones históricas realizadas por González (1910) y Miyamura (1980). Posteriormente se realizó un análisis más detallado de los eventos en particular, para lo cual se consultó periódicos y documentos escritos en la época de ocurrencia de los eventos. En este trabajo se buscó discriminar los eventos superficiales intraplaca, de los interplaca originados en la zona de convergencia de placas. Para los eventos ocurridos antes de 1833 la distinción de los orígenes de los temblores se hace extremadamente difícil porque no existían periódicos en el país y los documentos escritos que se presentan son extremadamente escasos. Entre 1833 y 1887 la identificación de la naturaleza de las fuentes de los temblores es aún difícil en algunos casos específicos, porque las descripciones son ambiguas, los datos son escasos y especialmente no existía un medio oficial de recopilación de información macrosísmica. Con el nacimiento del Instituto Físico-Geográfico a partir de 1888 se inició una época de gran interés por los fenómenos sísmicos y volcánicos

Figura 2: Localización de los sismos históricos y recientes de Costa Rica para el período 1800-1985. Con círculos sin rellenar se ubican los eventos interplacas con magnitudes $M_S \geq 6.75$. Con círculos rellenos se ubican los eventos intraplaca con magnitudes $M \geq 5.0$. El año de ocurrencia del evento en cada caso se indica al lado del epicentro. Las zonas sísmicas en que ha sido subdividido el margen convergente entre las placas del Coco y del Caribe en Costa Rica se muestra con líneas continuas (basado en Morales, 1985). La ubicación de los eventos interplaca a partir de 1904 según referencias del Cuadro 2. Eventos anteriores localización según este estudio. Los temblores intraplaca son localizados basándose en Montero (1983) para el Valle Central y para el resto del país según referencias de Tabla 1B que se encuentra en Morales (1985), excepto los eventos de 1821, 1841, 1842, 1853 y 1935.



que se mantuvo hasta alrededor de 1912 (Miyamura, 1980). Los temblores que ocurrieron después quedaron generalmente bien documentados en los periódicos, a pesar de que disminuyó sensiblemente el interés oficial por apoyar el estudio de este tipo de eventos naturales.

RESULTADOS

Períodos de recurrencia de los eventos intraplaca

Zona de Arenal:

Esta zona comprendida entre la Cordillera Volcánica del Guana-
caste y los Cerros de Abangares-Tilarán, ha sido afectada por tres
temblores de magnitud moderada en el período 1800-1985. Estos even-
tos ocurrieron el 24 de agosto de 1853, el 10 de octubre de 1911 y
el 13 de abril de 1973 ($M_S = 6.5$). La información macrosísmica acer-
ca del primer evento es escasa pero no queda duda acerca de la fuente
superficial (temblores réplicas se oían como retumbos) y de su carác-
ter dañino especialmente en el poblado de Cañas. Del evento de 1911
existe buena información macrosísmica en informes (Tristán, 1911) y
periódicos de la época. El terremoto de 1973 fue estudiado por
Plafker (1973) y Matumoto et al. (1976). Los tres eventos tuvieron
intensidades Mercalli Modificada (MM) iguales o superiores a VII y
los dos últimos eventos seguramente alcanzaron el grado VIII (Morales,
1985; Plafker, 1973).

El período de recurrencia de los eventos mayores de esta zona
sismogénica es de 60 ± 2.8 años, el valor de dispersión demuestra
una ciclicidad bastante regular en la ocurrencia de los principales
eventos de esta región para los últimos 185 años (Fig. 3a y Cuadro
1).

CUADRO 1
RECURRENCIA DE TEMBLORES INTRAPLACA

Zona de Arenal-período 1800-1985:

<u>Año del temblor</u>	<u>Tiempo recurrencia, años</u>
1853	
1911	58
1973	62

Período medio de recurrencia = 60 ± 2.8 años

Zona del Valle Central-período 1800-1985:

<u>Año del temblor</u>	<u>Tiempo recurrencia, años</u>
1821	
1841,1842,1851	20-30
1888	37
1910(2), 1911,1912	22-24
1951,1952,1955	39-43

Período medio de recurrencia = 29.5 ± 9.9 años

El terremoto de Bagaces del 1° de agosto de 1935, que ocurrió unas decenas de kilómetros al noroeste de la región de Arenal no lo incluimos dentro de esta zona sísmica por tener seguramente distinto ambiente de origen tectónico y por la clara separación espacial entre el evento de 1935 y los de la región de Arenal (Fig. 2). Sin embargo es claro que el terremoto de Bagaces de 1935 es un típico temblor intraplaca, superficial, de moderada magnitud, que causó daños en un área relativamente restringida y especialmente en el poblado de Bagaces.

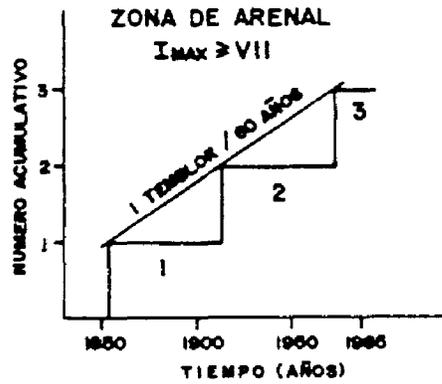
Zona sísmica del Valle Central:

Esta es la fuente sismogénica más activa del arco interno de Costa Rica, en razón del número de eventos de moderada magnitud que han ocurrido en los últimos 185 años, aunque Morales (1985) en términos de la energía liberada la ubica en segundo plano. Sin embargo, como las estimaciones de magnitud de esta fuente han sido principalmente en base a datos macrosísmicos y en algunos casos no claramente definidos, los errores en las determinaciones de magnitud podrían ser hasta de un grado, razón por la cual su importancia en términos de energía liberada no puede aún ser dilucidada.

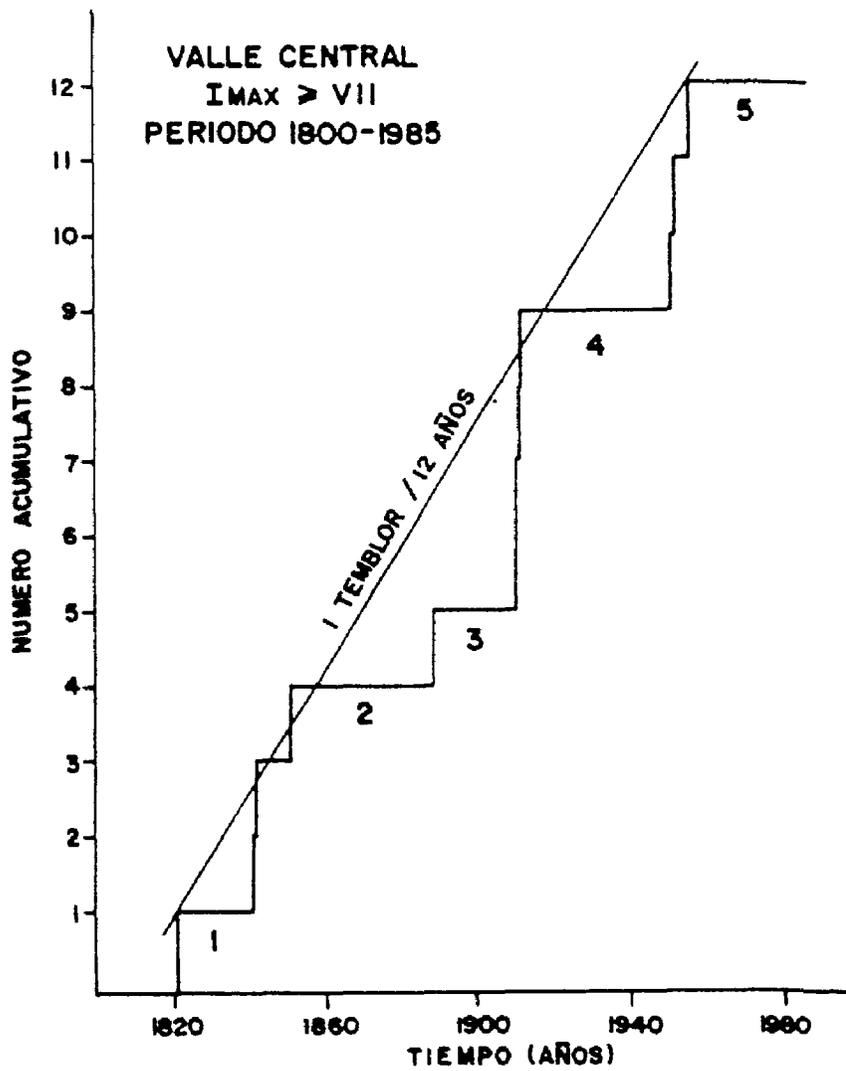
Los tipos de secuencias sísmicas que se presentan son variados y deben depender entre otros factores, de la profundidad, el ambiente tectónico y de la magnitud. Como esta última no puede ser bien determinada en la mayoría de los casos, escogemos para redefinir los períodos de recurrencia de los eventos someros de esta región (previamente sugeridos por Montero, 1983, entre 35 y 40 años) solamente aquellos eventos que estamos seguros tienen intensidades MM mayores o iguales a VII. Al realizar esta escogencia posiblemente estamos incluyendo eventos con magnitudes superiores a 5.0 que ocurrieron en el Valle Central especialmente a partir de 1840.

Hemos revisado más detenidamente los eventos incluidos en Montero (1983) dentro de las secuencias sísmicas del Valle Central, lo cual nos ha llevado a redefinir los períodos de actividad sísmica de los de tranquilidad sísmica. En la figura 3b se muestra el número acumulativo de eventos de intensidad MM mayores o iguales a VII para el período 1800-1985. En relación al trabajo de Montero (1983) las diferencias son:

Figura 3: Número acumulativo de temblores ($T_{max} \geq VII$) para las zonas sísmicas de Arenal (3a) y del Valle Central (3b). En cada caso se muestra la media del período de recurrencia por una línea fina continua. En el caso del Valle Central al ocurrir temblores dentro de cada secuencia sísmica el valor: 1 temblor/12 años no tiene significado.



(a)



(b)

1. Se incluye el evento del 10 de abril de 1821, en el cual se reportaron daños importantes en la iglesia de San José.
2. No se incluye el evento del 4 de agosto de 1854, dado que los datos macrosísmicos parecen ubicarlo en la zona sísmica de osa.
3. El temblor del 3 de marzo de 1882 por la distribución de da
ños sugiere una fuente en el margen pacífico central del país,
de tipo interplaca.
4. El temblor del 20 de abril de 1896 está mal documentado con-
tándose con escasos datos macrosísmicos. Los daños estuvie-
ron concentrados principalmente en Cartago aunque hay refe-
rencia a los mismos también en San José y Heredia, lo cual su
giere un decaimiento espacial de las intensidades no tan rápi-
da como es de esperar en un temblor superficial que tendría
una intensidad máxima de VII en el área epicentral (que po-
dría localizarse cerca de la ciudad de Cartago), como la in-
tensidad parece ser bastante similar en las tres poblaciones
anteriores, una fuente del lado sur del Valle Central también
parece probable, sin que la misma sea necesariamente de carác-
ter intraplaca. Por otro lado, la intensidad máxima MM en
virtud de los escasos datos macrosísmicos también podría ubi-
carse en VI. Es de notar que la mayoría de los daños repor-
tados son en estructuras de cierto tamaño (iglesias, edificios
públicos, etc.), lo cual podría sugerir una fuente sísmica a
cierta distancia epicentral. Por las razones anteriores no
se incluye este evento dentro del análisis.
5. Los temblores ocurridos entre el 27 y el 29 de diciembre de
1905 corresponden con un típico enjambre donde los eventos
mayores alcanzaron intensidades MM VI y posiblemente VII
aunque no seguro. Tampoco se incluye esta secuencia dentro
de la figura 3b.

Considerando las anteriores modificaciones tenemos que entre 1800 y 1985 se presentaron las siguientes secuencias sísmicas:

1. El temblor del 10 de abril de 1821 inicia la actividad sísmica importante del Valle Central del siglo XIX. Este temblor no quedó bien documentado, aunque en San José la intensidad MM seguramente fue VII.
2. Un período de tranquilidad sísmica de 20 años, es interrumpida por los eventos del 2 de setiembre de 1841 (primera destrucción de Cartago), del 21 de marzo de 1842 (aunque la intensidad máxima MM pudo ser menor a VII) y del 18 de marzo de 1851 constituyendo la segunda fase sísmica del período estudiado. Sin embargo, los datos macrosísmicos del evento del 18 de marzo de 1851 sugieren otra posible fuente sísmica. La distribución de daños es similar a la del terremoto del 30 de diciembre de 1888 (que es de tipo intraplaca) con más daños en Alajuela y progresivamente menos hacia San José y Cartago, pero por otro lado la anotación de De Ballore (1888) de la presencia de daños en Guanacaste, sugiere que la fuente se localiza hacia el margen pacífico central del país. Pero considerando la alta concentración de daños en San José y especialmente en Alajuela lo incluimos como intraplaca. Luego de este terremoto se inicia un período de calma sísmica que dura prácticamente 38 años.
3. La tercera secuencia sísmica la constituye un único evento, el ocurrido el 30 de diciembre de 1888. A continuación un nuevo período de relativa calma sísmica que dura 21 años.
4. La cuarta secuencia sísmica que consta de cinco eventos se inicia con el terremoto del Tablazo del 13 de abril de 1910 y termina con el terremoto de Sarchí y Toro Amarillo del 6 de julio de 1912, e incluye además el terremoto de Cartago del 4 de mayo de 1910, el terremoto de Toro Amarillo del 28 de agosto de 1911 y el temblor de Tres Ríos del 21 de febrero de 1912. A partir de julio de 1912 se inicia un período de tranquilidad sísmica, para eventos intraplaca con inten-

sidades mayores o iguales a VII en el Valle Central, que se prolonga 39 años.

5. La quinta secuencia incluye tres eventos. Se inicia con el temblor de Paraíso y Orosi del 21 de agosto de 1951, prosigue con el evento de Patillos del 30 de diciembre de 1952 y termina con el terremoto de Toro Amarillo del 1° de setiembre de 1955. El actual período de tranquilidad sísmica lleva 30 años hasta 1985.

Los períodos de recurrencia de las secuencias como se puede observar con los datos anteriores han sido variables teniendo valores extremos de 20 años (mínimo) y de 39 años (máximo). La media es de 29.5 ± 9.9 años (Cuadro 1).

Temblores intraplaca de otras fuentes sísmicas:

Las fuentes sismogénicas de Arenal y del Valle Central son las únicas que cuentan con datos históricos que permiten establecer ciclicidades en la actividad intraplaca. Otros eventos intraplaca que han ocurrido en los últimos 185 años se muestran como temblores aislados que han ocurrido en zonas sismogénicas donde los eventos mayores ocurren con períodos de recurrencia superiores a la cobertura temporal de los archivos históricos o los mismos siendo inhomogéneos y dependientes de la distribución geográfica de las poblaciones y de las posibilidades de comunicación oral o escrita de un momento dado, han provocado que se pierda información de eventos sísmicos importantes en tiempos históricos.

Los temblores intraplaca que ocurrieron en los últimos 185 años en fuentes sismogénicas con un solo evento son:

1. El terremoto de Bagaces del 1° de agosto de 1935 (localización en figura 2) ocasionó daños en construcciones en Bagaces y muy ligeros en Liberia. Los temblores intraplaca en esta región tienen un período de recurrencia superior a los 130 años dado que esta región fue colonizada entre 1700 y 1800 (Nuhn, 1978), y parece extremadamente difícil que un

temblor importante en esta región no hubiera quedado documentado en los archivos históricos.

2. El terremoto de Orotina del 4 de marzo de 1924 ($M_s = 7.0$), epicentro macrosísmico en figura 2. Diferentes evidencias señalan que este evento es de carácter intraplaca (Montero y Dewey, 1982; Morales, 1985; Montero, en preparación). El período de recurrencia en esta zona sismogénica parece nuevamente superior a los 120-150 años, dado que la colonización temprana por los españoles en la región de Esparza entre 1700-1800 y de Orotina entre 1800 y 1850 (Nuhn, 1978) hubieran reflejado en los archivos históricos la ocurrencia de un evento superficial en esta región.
3. El terremoto de Limón del 7 de enero de 1953. Epicentro macrosísmico en figura 2. La región donde ocurrió este terremoto con intensidad máxima $MM = VII$ (Morales, 1985), fue colonizada entre 1850-1900, con excepción de la zona de Matina donde los asentamientos humanos se remontan al período de 1700-1800 (Nuhn, 1978). Por lo tanto el período de recurrencia de los eventos de magnitud moderada parece superior a 50 años pero podría ser aún mayor si la población de Matina se usara como marco de referencia, en cuyo caso podríamos hablar de un T de aproximadamente 150 años dado que en González (1910) se hace referencia a una actividad sísmica con varios temblores algunos aparentemente de cierta intensidad que causaron gran inquietud entre la población y que ocurrieron a partir del 21 de febrero de 1798. Esta actividad sísmica debe ser local y de carácter intraplaca.
4. El terremoto de Buena Vista de Pérez Zeledón del 3 de Julio de 1983 ($M_s = 6.1$, profundidad 13 km, epicentro en Figura 2). Con intensidad máxima MM entre VIII y IX grados (Morales y Leandro, 1985). Ocurrió en una región que comenzó a ser colonizada en la primera mitad de este siglo, por lo cual un período de recurrencia superior a los 50 años parece razonable para los eventos de magnitud moderada de esta zona sismogénica.

Período de recurrencia de los temblores originados por la convergencia de placas (interplaca en Costa Rica):

Los temblores del margen pacífico de Costa Rica originados por el proceso de resbalamiento entre las placas del Coco y del Caribe, son analizados en este apartado siguiendo la división en zonas sísmicas propuesta por Morales (1985) y que se basa entre otros, en las áreas de ruptura de los temblores interplaca.

Zona Sísmica de Osa:

En el presente siglo han ocurrido tres eventos con magnitudes superiores a 7.0 (M_s), en los años 1904, 1941 y 1983 con epicentro dentro de esta zona (Fig. 2), el último de los cuales tiene un mecanismo focal de falla inversa como es típico de las zonas de subducción (PDE, 1983). Morales y Montero (1984), propusieron un período de recurrencia de 40 ± 3 años para esta zona sísmica. Sin embargo, si incorporamos el siglo XIX en el análisis observamos que surgen ciertas discrepancias con el resultado anterior. Dado que la zona sur de Costa Rica ha sido fundamentalmente colonizada en el presente siglo, tenemos como referencia para localizar eventos en esta zona sísmica, las observaciones macrosísmicas comparativas que podemos realizar entre eventos de esta región ocurridos en este siglo y los del siglo anterior, especialmente como son sentidos en el Valle Central. Un segundo termómetro para localizar eventos en esta región lo constituye el poblado indígena de San Francisco de Térraba (Boruca) habitado con misioneros españoles desde el siglo XVIII. La ubicación de esta población es clave para localizar eventos importantes originados en la región de Osa (Fig. 2). En dos temblores ocurridos durante el siglo XIX se habla de daños en este poblado (González, 1910). Analicemos los temblores que pudieron originarse en esta zona sísmica durante el siglo pasado:

-Temblor del 27 de diciembre de 1803: Este temblor arruinó la iglesia de Boruca. También causó daños en Cartago y otros lugares (González, 1910). La distribución de daños es concordante con una fuente sísmica de Osa.

-Temblor del 8 de mayo de 1822: Un temblor de magnitud alrededor de 8, que causó daños sobre un gran área (Montero, en preparación). Se reportaron daños en Cartago, San José, Matina, Ujarrás, Nicoya, San Francisco de Térraba y en San Francisco de Veraguas en Panamá. La distribución de daños y el área donde fue sentido este temblor sugiere fuertemente la fuente sísmica de Osa como la generadora de este evento.

-Temblor del 4 de agosto de 1854: Causó daños ligeros en el Valle Central. Su fuente se ubica seguramente en la región del Golfo Dulce, considerando en primer lugar la forma como fue percibido en el Valle Central que es bastante similar a la forma como fue sentido el terremoto de Golfito del 3 de abril de 1983. Veamos la descripción de cómo fue sentido este temblor y que aparece en De Ballore (1888): "Muy fuerte temblor de tierra de dos sacudidas en San José de Costa Rica y Cartago. El movimiento fue de trepidación y duró dos minutos, con una intensidad bastante uniforme ... todo el istmo fue sacudido por el golpe principal, que fue señalado de Colón hasta Rivas y sobre las costa de los dos océanos ...". Interpretamos que las dos sacudidas señalan el arribo de las ondas P y S. El que pudiera distinguirse claramente la llegada de ambas ondas en un temblor de carácter destructivo sugiere una distancia epicentral apreciable. La uniformidad en la intensidad durante un período de tiempo considerable aunque ciertamente exagerado, nuevamente sugiere una distancia epicentral importante y además la forma como fue percibido este temblor es bastante similar a la forma como fue sentido el terremoto de Golfito de 1983 en el Valle Central. El área sacudida entre Colón (Panamá) y Rivas (Nicaragua) es bastante similar al área máxima donde fue reportado sentido el terremoto de Golfito de 1983. Finalmente, en De Ballore (1888) se menciona la ocurrencia de un deslizamiento (?) en lo que sugerimos fue el área epicentral, veamos "Sobre la costa del Pacífico se produjo un desmoronamiento bastante considerable en una falla del Golfo Dulce", lo cual refuerza la opinión de que este temblor se originó en la zona sísmica de Osa.

-Temblor del 26 de noviembre de 1867: Únicamente se tiene referencia de este temblor en De Ballore (1888). Se menciona que la isla de Zapodilla ubicada en el Golfo Dulce se está hundiendo por causa de temblores que estremecen esa región. No existe una isla con ese nombre actualmente en el Golfo Dulce, aunque Lew (1983) citando a Lewis (1982, comunicación personal) cita evidencia de invasión del mar en la zona de Puerto Jiménez, Península de Osa y la presencia de zonas hundidas bajo el nivel del mar con entierros indígenas en la misma región. Fisher (1980) menciona evidencia de paleoplateformas de bioerosión marina que se encuentran bajo el nivel del mar. Estas últimas observaciones señalan evidencias sumamente recientes de hundimientos en la región del Golfo Dulce que estarían en concordancia con lo ocurrido en 1867.

Con respecto a los eventos de 1803 y 1822, los mismos podrían haber sido originados en la zona de subducción de Osa a lo largo de la falla transformada de Panamá, localizada aproximadamente a los 83°W, cerca de la zona fronteriza de Costa Rica y Panamá. Sin embargo, los temblores de este siglo originados de esta última fuente no han originado daños en el Valle Central, por ejemplo, la secuencia sísmica de julio de 1934, con un evento de $M = 7.7$, originó únicamente ligeros daños en Puerto Jiménez (Miyamura, 1980). Sin embargo, un temblor con epicentro en la proyección hacia tierra de la fractura de Panamá y de mayor magnitud, podría causar daños como los observados en estos eventos.

Con las consideraciones y limitaciones anteriores proponemos preliminarmente que los eventos de 1803, 1822 y 1867 y más seguramente el de 1854 se originaron en la zona sísmica de Osa (Fig. 2 y Cuadro 2). Lo anterior señalaría incluyendo los eventos de este siglo, un período medio de recurrencia de 30.0 ± 11.5 años (Cuadro 3). Este valor medio de recurrencia es menor respecto al encontrado por Morales y Montero (1984), y además sugiere que la regularidad en la ocurrencia de los eventos mayores en esta zona sísmica disminuye al considerar un período de tiempo mayor del inicialmente escogido.

CUADRO 2

CLASIFICACION DE TEMBLORES INTERPLACAS (M ≥ 6.75) EN ZONAS SISMICAS

Zona de Osa

Siglo XIX:

Año	Mes	Día	Tiempo Ori	Lat.N	Long.W	Prof	Mag(M _S)	Referencia
1803	12	27	-	8.50°	83.00°	N*	C	EM+
1822	05	08	-	8.50°	83.00°	N	7.9**	EM
1854	08	04	-	8.50°	83.00°	N	B	EM
1867	11	26	-	8.50°	83.00°	N	C	EM?

Siglo XX:

1904	12	20	0544 18.0	8.50°	83.00°	N	7.2	GR**/AN°
1941	12	05	2046 57.6	8.67°	83.16°	N	7.5	KSOX
1941	12	06	2124 42.2	8.76°	84.29°	N	6.9	KSO
1983	04	03	0250 02.8	8.90°	83.11°	N	7.2	ISSXX

Zona de Quepos

Siglo XIX:

1882	03	03	13.48	9.20°	84.20°	N	B	EM
------	----	----	-------	-------	--------	---	---	----

Siglo XX:

1940	10	27	0535 37.0	9.75°	94.50°	N	6.75	GR
1952	09	09	1254 42.0	9.20°	84.20°	N	7.0	ISS

Zona de Nicoya

Siglo XIX:

1827	04	03	-	10.00°	85.50°	N	B	EM
1853	09	08	-	10.00°	85.50°	N	B	EM
1863	12	09	-	10.00°	85.50°	N	B	EM

Siglo XX:

1900	06	21	2052	10.00°	85.50°	N	7.2	EM
1905	01	20	1803 04.0	9.85°	84.68°	N	6.75	M
1916	04	24	0802 12.0	10.35°	85.29°	N	7.4	GR/AN
1916	04	26	0221 30.0	10.14°	84.63°	-	7.1	GR/AN
1939	12	21	2054 47.2	10.14°	84.63°	-	7.3	KSO
1939	11	22	0443 58.1	9.80°	84.55°	-	6.75	KSO
1950	10	05	1609 27.1	10.35°	85.29°	-	7.7	KSO
1978	08	23	0038 32.4	20.21°	85.25°	58	7.0	ISS
1978	08	23	0050 09.0	10.35°	85.10°	69	7.0	ISS

Zona de Papazayo

Siglo XIX:

1840	02	18	-	10.50°	86.00°	N	B	EM(?)
------	----	----	---	--------	--------	---	---	-------

Siglo XX:

1916	02	07	2020 48.8	10.70°	85.86°	N	7.5	M
------	----	----	-----------	--------	--------	---	-----	---

- Notas: * M se refiere a profundidad normal (33 km)
 ** Magnitud basada en Montero (1986)
 + EM se refiere a Epicentro Macrosísmico (basado en datos de intensidad)
 ++ GR se refiere a Gutenberg y Richter (1954)
 ° AN se refiere a Magnitud basada en Abe y Noguchi (1983a, 1983b)
 x KSO referencia de Kelleker, Sykes y Olivier (1973)
 xx ISS es International Seismological Summary
 - M referencia a Morales (1985)

Clases de magnitud:

A	-	7.75 a 8.5
B	-	7.0 a 7.7
C	-	6.0 a 6.9