

Zonas sísmicas de Quepos, Nicoya y Papagayo

La separación de los eventos sísmicos dañinos que pudieron haber ocurrido en las zonas sísmicas de Quepos, Nicoya y Papagayo durante el siglo pasado es difícil, básicamente por la escasez de datos macrosísmicos que han sido obtenidos de documentos y periódicos de la época. Incluso la ubicación de algunos eventos del presente siglo dentro de ciertas zonas sísmicas es dudosa, dado los errores presentes en las determinaciones hipocentrales y la aun imprecisa determinación de los límites entre las zonas sísmicas anteriores. Por lo anterior, analizaremos particularmente cada uno de los eventos sísmicos dañinos del siglo pasado, cuya fuente se debe de localizar en alguna de las zonas sísmicas anteriores, y plantearemos las alternativas respecto a una posible ubicación:

1. Temblor del 3 de abril de 1827. En González (1910) se menciona que un terremoto ocurrido en esta fecha, provocó daños en la iglesia parroquial de Nicoya lo cual obligó a su reedificación. Prado (1924) menciona que la reedificación de la iglesia realizada en 1827 fue a causa del gran terremoto de 1822. Se plantea así una duda acerca de la ocurrencia de un evento en 1827. Si este evento ocurrió el hecho que no se mencione daños en el Valle Central y la ocurrencia de daños en Nicoya (intensidad MM VII), sugiere que el evento pudo originarse en la zona sísmica de Nicoya. Una situación similar se presentó a raíz de la ocurrencia de los dos eventos de Sámara del 23 de agosto de 1978 (ambos con $M_s = 7.0$).
2. Temblor del 18 de febrero de 1840. En González (1910) se cita que en esta fecha un evento de larga duración y sumamente intenso, fue percibido por Stephens entre el río Lagarto y Bagaces: "... la tierra se movía como un buque que se balancea en un mar tempestuoso y que los choques continuaron por casi dos minutos ...". La descripción sugiere una distancia epicentral estimable (del orden de 100 km). González (1910) agrega que de este temblor "no se tuvo noticia en el interior ... " (Valle Central). Esta última observación podría descar

tar las fuentes de Nicoya y Quepos como generadoras de este evento y sugerimos la fuente de Papagayo. Leeds (1974) en su catálogo de eventos destructivos de Nicaragua no reporta ningún evento en esta fecha, lo cual podría descartar un evento más al norte de la zona sísmica de Papagayo aunque su catálogo se basa únicamente en referencias publicadas en libros o artículos científicos no incluyendo la revisión de periódicos o de Archivos Nacionales para completar los datos existentes. Más información macrosísmica es necesaria para la ubicación de este evento.

3. Temblor del 18 de mayo de 1847. En González (1910) se menciona la ocurrencia de temblores fuertes desde Panamá a Rivas. En De Ballore (1888) se menciona un evento el 31 de julio de este año en San Juan (del Norte ?) de Nicaragua. Leeds (1973) lo localiza preliminarmente a los 12°N y 84°W . La información disponible es insuficiente para el análisis, aunque la circunstancia de que no se mencionarían daños en ninguna población podría sugerir que los eventos no tienen magnitud alta.
4. Temblor del 8 de setiembre de 1853. Este evento originó daños especialmente en Santa Cruz, Filadelfia y Nicoya. En Bagaces, Cañas y Liberia se sintió fuerte pero no causó estragos (González, 1910). La distribución de daños sugiere la zona sísmica de Nicoya como la más probable fuente generadora de este evento.
5. Temblor del 9 de diciembre de 1863. Este evento no está referido ni en González (1910) ni en De Ballore (1888). Ha sido localizado en Archivos Nacionales. Según referencia del Jefe Político de Nicoya este temblor provocó daños en la Iglesia, Casa Cabildo y en las casas especialmente en los tejados de esta población. La distribución de daños sugiere fuertemente la zona sísmica de Nicoya como la fuente sísmica de este evento.

6. Temblor del 3 de marzo de 1882 (13:48 GMT). En el Valle Central especialmente en su sector occidental originó daños especialmente a las iglesias. En Puntarenas hubo pérdidas económicas en el comercio (González, 1910). En los días siguientes hubo varias réplicas algunas de intensidad fuerte en San José. En un caso explícitamente se menciona que una réplica fue sentida en Puntarenas, y débil en San José (González, 1910). La distribución y el tipo de daños del evento principal y el carácter de las réplicas sugieren que este evento proviene de la zona sísmica de Quepos.
7. Temblor del 21 de junio de 1900. La distribución de daños de este temblor corresponde con una fuente en la zona sísmica de Nicoya. Se reportó daños importantes incluyendo la caída de construcciones en poblaciones de la península de Nicoya, tales como Santa Cruz, Nicoya Y Filadelfia. En Puntarenas y en el Valle Central hubo pérdidas importantes en el comercio incluyendo daños menores en algunas construcciones.

Teniendo en consideración las serias limitaciones que se tienen para la ubicación de eventos sísmicos del siglo pasado que se originan en la zona de subducción, hemos confeccionado el Cuadro 2 en donde se clasifican los temblores relevantes del siglo pasado y del actual ($M \geq 6.75$) de acuerdo a la zona sísmica donde se originaron. La determinación de períodos de recurrencia para las zonas sísmicas de Nicoya, Quepos y Papagayo al incluir los eventos del siglo pasado es difícil especialmente para los dos últimos casos. En la zona de Nicoya se observa un período de tranquilidad sísmica anormalmente extenso (Fig. 4c) considerando el comportamiento de liberación de energía sísmica que se ha presentado en el presente siglo, dado que no se ubica ningún evento entre 1863 y 1900. El período de recurrencia para eventos mayores sería de 21.6 ± 11.8 años (Cuadro 3) si consideramos los sismos incluidos en el Cuadro 2.

Para la zona sísmica de Papagayo no se puede obtener un período de recurrencia dado que el evento de 1840 es sumamente dudoso en cuan

CUADRO 3
RECURRENCIA DE TEMBLORES INTERPLACA

Zona sísmica de Osa - período 1800-1985:

<u>Año del temblor</u>	<u>Tiempo de recurrencia, años</u>
1803	
1822	19
1854	32
1867	13
1904	37
1941(2)	37
1983	42

Tiempo medio de recurrencia = 30.0 ± 11.5 años.

Zona sísmica de Nicoya - período 1800-1985:

<u>Año del temblor</u>	<u>Tiempo de recurrencia, años</u>
1827	
1853	26
1863	10
1900	42
1905	-
1916(2)	11
1939(2)	23
1950	11
1978(2)	28

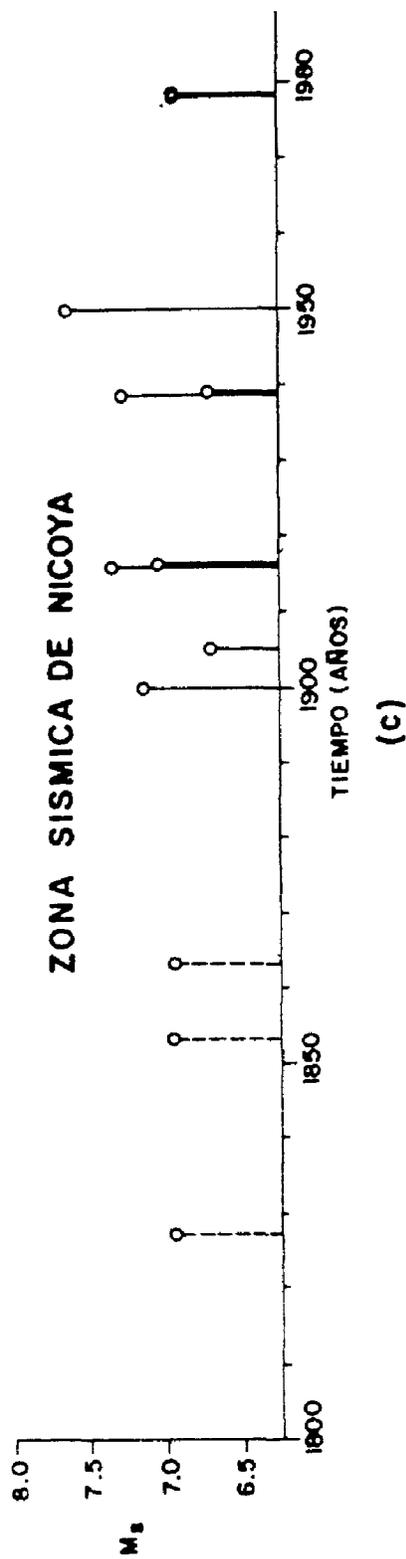
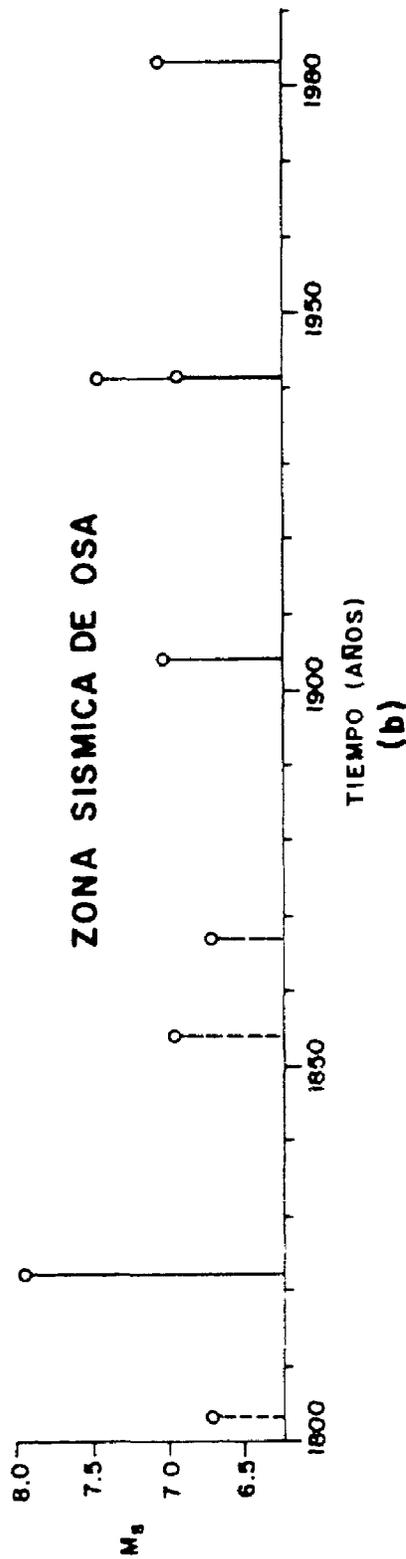
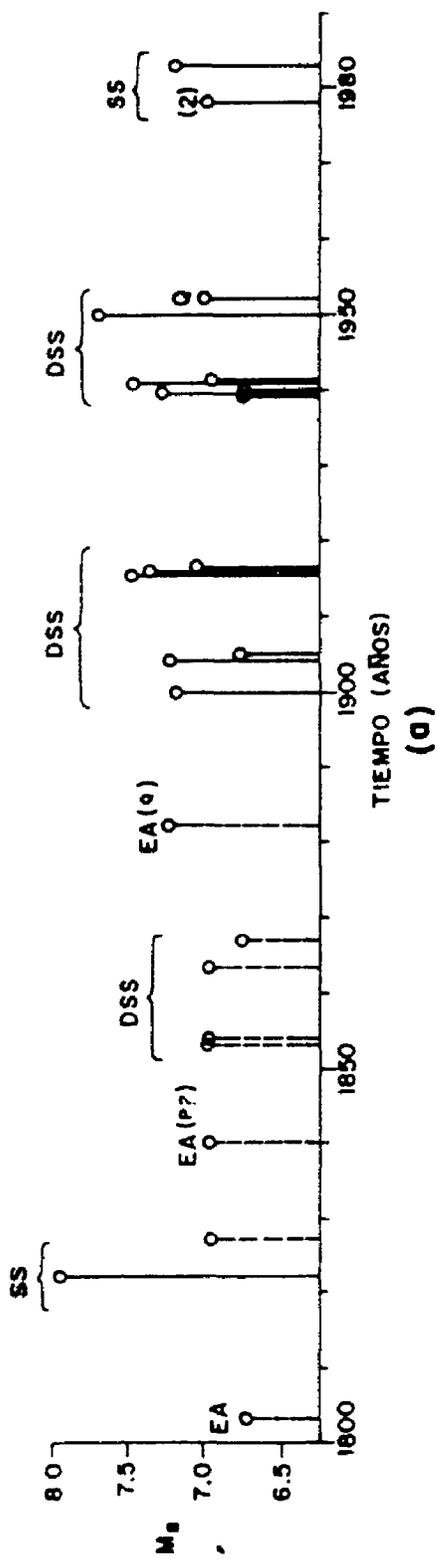
Tiempo medio de recurrencia = 21.6 ± 11.8 años

to a su ubicación. Una situación similar se presenta con la zona de Quepos. Es interesante en este caso señalar que Duda (1965) localiza un evento ocurrido el 16 de agosto de 1909 y que se ubicaría en esta zona a los $10^{\circ}00'N$ y $84.00^{\circ}W$, asignándole $M = 7.1$. Abe y Noguchi (1983b) redefinen la magnitud como $M = 6.8$ para este evento. Este temblor fue sentido débil y largo en San José y más fuerte en Guanacaste. En Managua causó pánico. En León se desplomó una casa. Fue sentido en la parte este de El Salvador. Por los datos anteriores se observa que este evento está al norte del epicentro propuesto por Duda (1965). Proponemos para este sismo, un epicentro preliminar en $12.5^{\circ}N$ y $87.5^{\circ}W$.

Ciclos sísmicos de los temblores de la zona de subducción (interplaca del margen pacífico de Costa Rica. Modelos de origen y consideraciones tectónicas

Al analizar la sismicidad a lo largo del margen pacífico de Centroamérica, Miyamura (1980) encontró que la misma ha sido activa casi estacionariamente para temblores con magnitudes $M_s \geq 6.75$ desde 1900 hasta 1960, y disminuyó drásticamente para el período 1960-1975. Sin embargo, si se analiza la situación de Costa Rica se encuentra que existen períodos cortos de gran actividad sísmica seguidos por intervalos de tranquilidad sísmica, tanto si analizamos el presente siglo (Miyamura, 1980; Morales, 1985, como los últimos 185 años (Fig. 4). Se describen a continuación tres tipos de secuencias sísmicas para eventos mayores ($M_s \geq 6.75$) que se presentan entre los períodos de calma sísmica:

Figura 4: Serie de tiempo de los temblores interplaca de Costa Rica con magnitudes $M_s \geq 6.75$, para el período 1800-1985. En la parte a) se integra a la actividad sísmica generada de las diversas fuentes sísmicas del margen convergente del país. EA indica evento aislado; SS corresponde con secuencia sísmica sencilla; DSS es la doble secuencia sísmica. La Q indica temblor originado en la zona sísmica de Quepos y la P de la zona de Papagayo. La línea a trazos indica que el valor de magnitud asignado es solo representativo. En la parte b) y c) se muestra por separado las series de tiempo de la actividad sísmica mayor de las zonas de Osa y Nicoya respectivamente, las dos fuentes más activas del período indicado.



1. Representado por un aislado evento sísmico mayor ($M \geq 6.75$), que ocurre con un tiempo mayor a 10 años, antes o después de períodos de actividad sísmica. Este tipo de rupturas han ocurrido en la zona sísmica de Quepos (evento del 03-03-1882 (?)) y posiblemente en la zona sísmica de Papagayo (evento del 18-02-1840(?)). (Fig. 4a).
2. Ciclo sísmico sencillo (tipo SS). Ocurren rupturas en por lo menos dos zonas sísmicas dentro de un período de tiempo menor a cinco años. Ejemplo de este tipo de secuencia son los temblores de Osa del 07-05-1822 y de Nicoya del 03-04-1827 (Fig. 4a).
3. Ciclo sísmico doble (tipo DSS). Corresponde a dos ciclos sísmicos sencillos separados por un intervalo de tiempo del orden de 10 años. Sistemáticamente en la primera secuencia ocurren rupturas en las zonas sísmicas de Osa y de Nicoya dentro de intervalos de tiempo menores a 5 años. Ejemplos de esta secuencia son (Fig. 4a):
 - a) Temblor de Nicoya del 08-09-1853 y de Osa del 04-08-1854. Podría incluirse el evento del 18-03-1851. Corresponden al primer ciclo sísmico. El segundo se inicia con el evento del 09-12-1863 en la región de Nicoya y concluye con el evento de Osa del 26-11-1867.
 - b) Un segundo ciclo sísmico doble está representado por las rupturas de Nicoya del 21-06-1900, de Osa del 20-12-1904 y de Nicoya del 20-01-1905 dentro de la primera secuencia. La segunda secuencia se inicia con las rupturas de la zona de Papagayo (temblor del 27-02-1916) y concluye con las rupturas de Nicoya del 24 y 26 de abril de ese mismo año.
 - c) Un tercer ejemplo de un ciclo sísmico doble es el que ocurre entre 1939 y 1952. Se inicia con la ruptura de Nicoya (eventos del 21 y 22 de diciembre de 1939) y la primera secuencia sísmica concluye con la ruptura de Osa

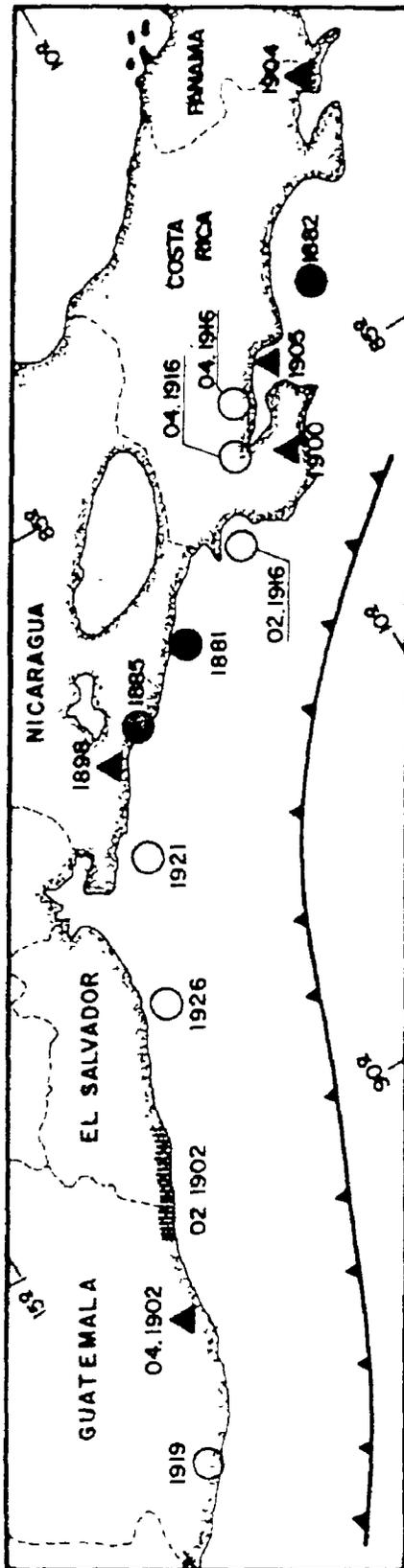
del 05-12-1941. La segunda secuencia sísmica se inicia con la ruptura de la zona sísmica de Nicoya con los eventos del 05-10-1950 y del 13-05-1952 y concluye con la ruptura de la zona sísmica de Quepos con el temblor del 09-09-1952 (Fig. 4a).

La existencia de secuencias sísmicas dobles en la región de Costa Rica y especialmente en la zona sísmica de Nicoya donde han ocurrido eventos de magnitud ≥ 6.75 separado por intervalos del orden de diez años tres veces en los últimos 185 años (Fig. 4c), además de que algunos de los eventos de la primera secuencia sísmica en la zona de Nicoya son de tipo gemelo (rupturas del 24 y 26 de abril de 1916, del 21 y 22 de diciembre de 1939 y las dos del 23 de agosto de 1978) reflejan un modo especial de liberación de energía sísmica en Costa Rica y en particular en la zona sísmica de Nicoya.

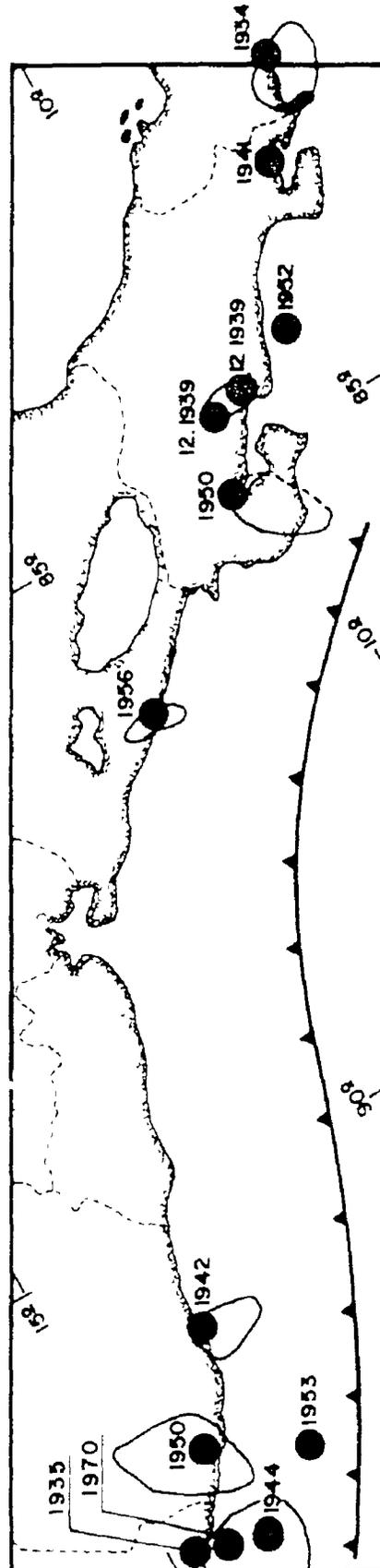
Proponemos que las dos secuencias sísmicas del patrón doble son interdependientes. La relativa cercanía temporal entre ellas y la ocurrencia en la segunda secuencia de temblores de magnitud relativamente alta (p. ej. temblor del 05 de octubre de 1950, $M = 7.7$), donde la energía liberada implicaría un tiempo mayor de acumulación de energía de deformación que el observado, sugieren que existe una dependencia mutua entre ambas secuencias. La particular ubicación tectónica del frente de subducción de Costa Rica, localizado en el extremo sureste de la zona de interacción Coco-Caribe y la subducción de la dorsal asísmica del Coco, podría sugerirse como elementos a considerar en la explicación del origen de los patrones DSS. Por otro lado, la migración de focos sísmicos a lo largo de las zonas de subducción ha sido reconocido en varias regiones. Anderson (1975) propuso que los grandes eventos sísmicos del tipo desacoplantes interplacas aceleran o desencadenan rupturas en zonas contiguas en períodos cortos de tiempo, a los cuales siguen intervalos de relativa calma sísmica. Las zonas sísmicas de Nicoya y de Osa al encontrarse en el extremo sureste del frente de subducción, podrían ser consideradas como la región donde concluyen un ciclo sísmico que viene migrando des

de el noroeste o resultar zona inicial desde donde se inicia un nuevo ciclo sísmico que migraría hacia el noroeste. Por el proceso desestabilizante desencadenado, la región de Nicoya especialmente podría ser escenario de dos rupturas relativamente cercanas en el tiempo. Considerando además que la misma se ubica en la región terminal donde la fosa está aun claramente definida en la batimetría y donde no está siendo el proceso de subducción alterado por la interacción de la cresta asísmica del Coco, y más bien por el contrario, el piso oceánico que alcanza la fosa puede ser relativamente fácil de subducir, se reafuerza la posibilidad que esta región se convierta en región terminal e inicial de los procesos de migración de focos de grandes temblores interplacas. Para analizar este aspecto en mayor detalle debe estudiarse la sismicidad de magnitud ≥ 6.75 del margen pacífico de Centroamérica (Fig. 5). Sin embargo, la misma no refleja un proceso claro de migración de focos. Si ésta se presenta tiene generalmente un carácter bidireccional, en el sentido de que los grandes terremotos desacoplantes ($M_s \geq 7.5$) con relativamente mayor área de ruptura pueden ocurrir en cualquier segmento del frente de subducción y las rupturas entonces progresivamente se mueven dirección noroeste y sureste desde el gran temblor desestabilizante. Algunos ejemplos sugieren este patrón. En la secuencia 1898-1905 (Fig. 5a), el gran temblor desacoplante fue el evento del oeste de Nicaragua del 12 de mayo de 1898. A partir de este temblor las rupturas se propagaron al noroeste de la fosa Mesoamericana originándose la gran ruptura del oeste de El Salvador y el este de Guatemala (evento del 26 de febrero de 1902) y la posterior gran ruptura en el centro-oeste de Guatemala

Figura 5: Secuencias sísmicas del margen convergente de Centroamérica ocurridas en el período 1895-1960. En parte a) se muestra con círculos rellenos la secuencia sísmica de 1881-1885; con triángulos rellenos la secuencia sísmica de 1898-1905 y con círculos sin rellenar la secuencia sísmica de 1916-1926. En la parte b) se muestra los dos polos de actividad sísmica que se presentaron entre 1935 y 1956 en las regiones del noroeste y sureste del margen pacífico de Centro América.



(a)



(b)

(evento del 19 de abril de 1902, $M_s = 7.7$). Finalmente en esta progresión se presentó el evento del 23 de setiembre de 1902 en el sureste de México ($M_s = 7.8$). Pero también hubo una migración de focos hacia el sureste a lo largo de la fosa desde la ocurrencia del evento de 1898. El 21 de junio de 1900 ocurrió la ruptura de la zona sísmica de Nicoya ($M_s = 7.4$) y el 20 de diciembre de 1904 la ruptura en la zona sísmica de Osa ($M_s = 7.2$). Con un efecto de rebote (previamente analizado) se presentó una nueva ruptura en la zona sísmica de Nicoya (20 de enero de 1905, $M_s \approx 6.75$). La serie de eventos de 1916-1926 (Fig. 5a) aparentemente se inició con la ruptura de la zona sísmica de Papagayo (evento del 27 de febrero de 1916, $M_s = 7.5$), continuó al sureste con las rupturas en Nicoya del 24 de abril ($M_s = 7.4$) y del 26 de abril ($M_s = 7.1$). Hacia el noroeste se originó la ruptura del noroeste de Nicaragua del 28 de marzo de 1921 ($M_s = 7.4$) y la del este de El Salvador del 08 de febrero de 1926 ($M_s = 7.2$). Finalmente en relación a la secuencia de 1934-1944 (Fig. 5b) la misma tuvo dos polos de actividad al igual que la de 1950: 1) El primero en el centroeste de Guatemala y 2) El segundo en Costa Rica especialmente. En el caso de la secuencia de 1935-1944 del centroeste de Guatemala la misma fue disparada por el evento del 14 de diciembre de 1935, siguiendo el gran evento del 6 de agosto de 1942 ($M_s = 7.9$) y finalmente el evento del 28 de junio de 1944 ($M_s = 7.1$). En el caso de Costa Rica la misma se inició con el evento del 18 de julio de 1934 en la fractura de Panamá (?) ($M_s = 7.7$), continúa con los eventos del 21 de diciembre ($M_s = 7.3$) y 22 de diciembre ($M_s = 6.75$) en la zona de Nicoya y terminó con la ruptura de Osa del 5 de diciembre de 1941 ($M_s = 7.5$). En esta secuencia como en la de Guatemala no es aparente un efecto de migración aunque sí de desestabilización en zonas sísmicas aledañas a partir de eventos desacoplantes. Algo semejante se presenta en la secuencia de 1950-1956 desencadenada en Costa Rica en la zona de Nicoya con el evento del 5 de octubre de 1950 ($M_s = 7.7$), continuando hacia el SE de la fosa con la ruptura de Quepos del 09 de setiembre de 1952 ($M_s = 7.0$) y hacia el NW con la ruptura del centro de Nicaragua del 24 de octubre de 1956 ($M_s = 7.3$).

Los anteriores patrones sugieren que los procesos de ruptura del margen pacífico de Centroamérica pueden iniciarse con un gran temblor interplacas cuya posición geográfica es variable y posiblemente dependiente de las regiones con mayor potencial sísmico. Por lo tanto, la zona sísmica de Nicoya parece actuar circunstancialmente como región terminal de patrones migrantes o inicial de procesos desencadenantes, como pudo ser el caso del terremoto del 5 de octubre de 1950. En el caso de Osa en el temblor del 22 de mayo de 1822, o en el caso de la zona sísmica de Chiriquí en el temblor del 18 de julio de 1934, también pudieron actuar inicialmente como temblores desencadenantes.

Un alcance diferente que podría explicar el patrón DSS en la zona sísmica de Nicoya, considera la observación de la existencia de una importante segmentación de la placa del Coco al subducirse bajo la placa del Caribe (Carr y Stoiber, 1977; Burbach y otros, 1984) aproximadamente en el límite entre las zonas sísmicas de Nicoya y de Quepos (Fig. 2). Temblores relacionados con el límite intersegmentos tendrían un área de ruptura elongada y de menor tamaño en relación con los que originan rupturas de los segmentos (Carr y Stoiber, 1977). Bajo este modelo podemos proponer que en una primera secuencia sísmica puede originarse una ruptura (o gemela) controlada por el límite intersegmento que actuaba como aspereza para que en una segunda secuencia sísmica cercana en el tiempo se origine la ruptura de la zona sísmica. La situación temporal inversa puede presentarse también e incluso la ruptura de dos asperezas relacionadas a la zona límite intersegmentos en un espacio relativamente limitado de tiempo. Así las rupturas gemelas de 1939 (21 de diciembre, $M_s = 7.3$ y 22 de diciembre, $M_s = 6.75$) están relacionadas con rupturas del límite intersegmento tal como fue sugerido por Carr y Stoiber (1977) y el evento del 5 de octubre de 1950 ($M_s = 7.7$) con la ruptura de la zona sísmica de Nicoya (Fig. 2). En el caso de la secuencia de principios de siglo el evento del 21 de junio de 1900 puede ser una ruptura de la zona sísmica de Nicoya, mientras que el temblor del 20 de enero de 1905 está relacionado con el límite intersegmentos (Fig. 2). Los temblores de 1916, el del 24 de abril con la zona sísmica de Nicoya

y el del 26 de abril con el límite intersegmentos (Fig. 2). Las anteriores sugerencias se realizan basándose en el epicentro macrosísmico y en el tamaño relativo de los temblores. Sin embargo, un conocimiento más detallado de la ubicación del límite intersegmentos es necesario dado que diferentes autores le dan una posición distinta (por ejemplo compárese Carr y Stoiber, 1977 y Burbach y otros, 1984). Nuestro modelo preferido para el origen del patrón DSS es el último analizado, en donde se sugiere una interdependencia temporal y mecánica entre los eventos originados en la zona límite intersegmentos y los temblores que originan las rupturas de la zona sísmica de Nicoya. Sin embargo, la migración de focos y el potencial sísmico podrían ser los factores que desencadenan el patrón DSS.

La secuencia sísmica de 1978-1983

Como ha ocurrido sistemáticamente con las secuencias sísmicas que presentan un ciclo sísmico sencillo (ya sea el de carácter aislado o el primero del tipo doble) se originaron rupturas en la zona sísmica de Nicoya (temblores del 23 de agosto de 1978, ambos $M_s = 7.0$) y de Osa (temblor del 03 de abril de 1983).

Si el comportamiento sísmico observado en un período tan corto como el analizado en este trabajo (185 años), se mantiene dentro de las secuencias sísmicas mencionadas, tenemos dos alternativas:

- 1) Que el ciclo sea de tipo SS en cuyo caso se puede presumir que la secuencia sísmica ha concluido, aunque es posible un evento de la zona sísmica de Papagayo si suponemos un T del orden de 75 años. No se esperaría un evento de la zona sísmica de Quepos considerando el comportamiento de la sismicidad histórica que sugiere un $T > 60$ años.
- 2) Que el ciclo sea de tipo DSS. En este caso esperaríamos nuevas rupturas de las zonas sísmicas de la zona de subducción, en los próximos 10 años.

Analicemos la situación desde el punto de vista de deslizamiento sísmico (\bar{u}) que se obtiene de los eventos ocurridos en la zona sísmica de Nicoya en el período 1900-1978. Usamos la relación de Davies y Brune (1971):

$$\bar{u} = \frac{1}{\mu S} \sum M_0 \quad (1)$$

sobre un intervalo dado de tiempo, donde μ es el módulo de rigidez (considerado 3.3×10^{11} dinas/cm²), $S = 60 L/\sin \alpha$ (km²) donde S es el área de ruptura, L es el largo de la ruptura y α es el ángulo de subducción y M_0 es el momento sísmico (dinas-cm) que se obtiene de la relación de Hanks y Kanamori (1979):

$$\log M_0 = 1.5 M_S + 16 \quad (2)$$

donde M_S es la magnitud de ondas superficiales. Encontramos que \bar{u} es 3.3 cm/año durante el período considerado, valor que es aproximadamente un 30% del deslizamiento interplacas que es de 10 cm/año a la altura de la península de Nicoya. Por otro lado, el evento del 5 de octubre de 1950 ($M_S = 7.7$), teóricamente genera un desplazamiento interplaca del orden de un metro. A una tasa de convergencia de 10 cm/año un evento de tal tamaño podría generarse alrededor de cada 15 años. Si consideramos que el desplazamiento promedio característico \bar{u} de la zona de Nicoya es 30% del valor teórico, un evento de tal tamaño podría presentarse cada 35 años. Este período de tiempo desde el evento de 1950 fue recientemente superado y dado que los eventos de 1978 no son significativos en términos de deslizamiento sísmico, no se puede descartar una nueva ruptura en la zona sísmica de Nicoya. En términos de pronóstico se ha enfatizado en el gran potencial sísmico de la zona de Quepos y de Papagayo (por ejemplo Morales y Montero, 1984; Morales, 1985) sin embargo, los datos de sismicidad histórica sugieren un potencial alto de una nueva ruptura de la zona sísmica de Nicoya y la repetición de un patrón DSS.

Conclusiones:

La sismicidad histórica intraplaca del período 1800-1985 de las regiones de Arenal y del Valle Central muestran una actividad sísmica temporalmente concentrada, con temblores de magnitud moderada ($5.0 \leq M \leq 6.5$), entre períodos de tranquilidad sísmica. En Arenal, la actividad sísmica está representada por la ocurrencia de un evento aislado, en el Valle Central generalmente por la ocurrencia de varios eventos que se concentran en un tiempo corto. Para la región de Arenal se encontró un período de recurrencia estable de 60.0 ± 2.8 años. Para el Valle Central el período de recurrencia relativamente estable es de 29.5 ± 9.9 años (Fig. 3).

Cuando analizamos separadamente la actividad interplaca de las diferentes zonas sísmicas del margen pacífico de Costa Rica para eventos mayores ($M_s \geq 6.75$) ocurridos entre 1800-1985 encontramos comportamientos distintos. De esta forma, las zonas sísmicas de Osa y de Nicoya han sido las más activas en el número de eventos ocurridos y la energía sísmica liberada. La zona sísmica de Osa presenta un período de recurrencia bastante estable de 30.0 ± 11.5 años (Cuadro 3). Si consideramos los eventos de 1854 y 1867 dentro de un mismo ciclo de actividad la recurrencia de grandes temblores es de 33.4 ± 8.8 años (Cuadro 3). La zona sísmica de Nicoya se muestra más irregular en la ocurrencia de eventos mayores con un período de recurrencia de 21.6 ± 11.8 años (Cuadro 3). Si consideramos nuevamente los patrones DSS como un solo ciclo, el período de recurrencia inter ciclos DSS o SS es de 28.5 ± 6.0 años (Cuadro 3), sugiriendo una regularidad importante en la actividad sísmica al analizarla con el enfoque anterior. En el caso de las zonas sísmicas de Quepos y de Papagayo, la incertidumbre en la ubicación de eventos históricos claves (por ejemplo temblores de 1840, 1851 e incluso 1882) imposibilita obtener períodos de recurrencia confiables para las mismas. A lo anterior se debe agregar la aparente menor actividad sísmica tanto en número de eventos mayores como en energía sísmica liberada de las zonas de Quepos y de Papagayo.

Al considerar integralmente la actividad sísmica de las diferentes zonas sísmicas del margen pacífico de Costa Rica, se encuentra que las zonas sísmicas de Nicoya y de Osa (Fig. 4a) liberan energía sísmica dentro de los mismos períodos sísmicos con una tendencia a presentarse la actividad sísmica antes en la zona de Nicoya. Los períodos de tranquilidad sísmicos son asimismo relativamente sincrónicos. El período de recurrencia relativamente similar de ambas zonas es consecuencia de las conclusiones anteriores. Los temblores de las zonas de Papagayo y de Quepos pueden o no ocurrir dentro de los ciclos sísmicos principales definidos por la sismicidad de Osa-Nicoya. Por las anteriores razones al considerar la actividad sísmica integralmente la misma se concentra dentro de períodos cortos de gran actividad sísmica seguidos por períodos relativamente mayores de calma sísmica. Dentro de estos últimos pueden aparecer eventos de Papagayo o Quepos (Fig. 4a).

La peculiar doble secuencia sísmica con un período de reposo intermedio del orden de 10 años, principalmente por causa de la actividad de la zona de Nicoya, parece ser resultado de la segmentación tectónica de la placa del Coco al introducirse bajo la Caribe en esta región. Eventos controlados por la ruptura de una aspereza en el intersegmento o ruptura de la zona sísmica pueden ocurrir dentro de la primera secuencia sísmica, provocando la concentración de esfuerzos tectónicos alrededor de nuevas asperezas que se localizan alrededor del límite intersegmentos o alrededor de las zonas sísmicas, llevando a nuevas rupturas dentro de períodos relativamente cortos de tiempo.

Agradecimientos

Mi sincero agradecimiento al compañero L.D. Morales por la revisión y mejoramiento del manuscrito.

Se agradece la colaboración de Gustavo Salazar en la confección de las figuras y a Astrid Amador el mecanografiado del trabajo.

Referencias

- Abe, K. & Noguchi, S., 1983a: Determination of magnitude for large shallow earthquakes 1897-1917. *Phy. Eart. Plan. Int.*, 32: 45-59.
- Abe, K. & Noguchi, S., 1983b: Revision of magnitudes of large shallow earthquakes, 1897-1912. *Phy. Eart. Plan. Int.*, 33: 1-11.
- Anderson, J., Bourgois, J. & Azema, J., 1984: A new type of active margin the convergent-extensional margin, as exemplified by the Middle America Trench of Guatemala. *Eart. Plan. Sci. Let.*, 67: 211-218.
- Burbach, G., Frohlich, C., Pennington, W. & Matumoto, T., 1984: Seismicity and tectonics of the subducted Cocos plate. *Jour. Geophys. Res.*, 81: 4885-4896.
- Carr, M.J. & Stoiber, R.E., 1977: Geologic setting o- some destructive earthquakes in Central America. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 88: 151-156.
- Davies, G. & Brune, J., 1971: Regional and global fault slip rate from seismicity. *Nature Phys. Sci.*, 229: 101-107.
- De Montessus De Ballore, F., 1888: Tremblements de terre et éruptions volcaniques au Centre Amérique depuis la conquete espagnole jusqu'a nos jours - 293 págs., Dijon, Soc. des Sci. Nat. de Saone et Loire.
- Fischer, R., 1980: Recent tectonic movements of the Costa Rican Pacific coast. *Tectonophys.*, 70: 25- 33.
- González V., C., 1910: Temblores, terremotos, inundaciones y erupciones volcánicas en Costa Rica, 1608-1910 - 200 págs. Tipografía de Avelino Alsina, San José, Costa Rica.
- Guendel, F., 1985: Sismicidad histórica y su relación a las fuentes sísmicas activas en el presente, resultados preliminares -11 págs., Memorias 3er. Sem. Nac. de Geotecnia, San José, Costa Rica.
- Gutenberg, B. & Richter, C.F., 1954: Seismicity of the earth and associated phenomena - 310 págs., 2 da. edición, Princeton University Press, Princeton, N.J.
- Hanks, T.C. & Kanamori, H., 1979: A moment magnitud scale. *Jour. Geophy. Res.*, 84: 2348-2350.
- Kelleher, J., Sykes, L. & Oliver, J., 1973: Possible criteria for predicting earthquake location and their application to major boundaries of the Pacific and the Caribbean. *Jour. Geophys. Res.*, 78: 2547-2585.

- Leeds, D.J., 1974: Catalog of Nicaraguan earthquakes. Bull. Seism. Soc. Am., 64: 1135-1158.
- Lew, L., 1983: The geology of the Osa Peninsula, Costa Rica: Observations and speculations of the outer arc of the southern Central American orogen -128 págs., Dept. of Geosci. Pennsylvania State University (M.Sc. tesis inédita).
- McNally, K.C. & Minster, J.B., 1981: Nonuniform seismic slip rates along the Middle America trench. Jour. Geophys. Res., 86: 4949-4959.
- Matumoto, T., Latham, G., Ohtake, M. & Umaña, J., 1976: Seismicity studies in northern Costa Rica, Eos, 57: 290.
- Miyamura, S., 1980: Sismicidad de Costa Rica - 190 págs. Ed. Univ. de Costa Rica, San José.
- Mogi, K., 1968: Migration of seismic activity. Bull. Earthq. Res. Inst., 46: 53-74.
- 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, 75-90.
- Montero, W., en preparación: Estudio de intensidades y parámetros focales del terremoto del 4 de marzo de 1924.
- Montero, W., en preparación: El terremoto de San Estanislao del 7 de mayo de 1822. Un gran temblor de subducción del sur de Costa Rica?.
- Montero, W. & Dewey, J.W., 1982: Shallow-focus seismicity, composite focal mechanism, and tectonics of the Valle Central, Costa Rica. Bull. Seism. Soc. Am., 71: 1611-1626.
- Mora, S., 1981: Clasificación morfotectónica de Costa Rica. Inst. Geogr. Nac., 26, Inf. Semestr. Julio-Dic.: 35-55.
- Morales, L.D., 1985: Las zonas sísmicas de Costa Rica y alrededores. Rev. Geol. Am. Centr., 3: 69-101.
- Morales, L.D. & Leandro, G., 1985: Riesgos geológicos asociados al terremoto de Buenavista, Pérez Zeledón. Mem. 3er. Sem. Nac. de Geotecnia -19 págs.
- Morales, L.D. & Montero, W., 1984: Los temblores sentidos en Costa Rica durante 1973-1983 y su relación con la sismicidad del país. Rev. Geol. Am. Central, 1: 29-56.

- Nuhn, H., 1978: Atlas preliminar de Costa Rica - 47 págs. + mapas. Imp. Nac./Inst. Geogr. Nac., San José.
- Plafker, G., 1973: Field reconnaissance of the effects of the earthquake of April 13, 1973, near Laguna de Arenal, Costa Rica Bull. Seism. Soc. Am., 63: 1847-1856.
- Prado, F., 1924: La Parroquia de Nicoya. Rev. de Costa Rica, 9: 202-204.
- Tristán, J.F., 1911: Notas sobre el terremoto de Guatuso, 10 de octubre de 1977. Anales Centro de Estudios Sismológicos, 45-51.
- Tristán, J.F., 1916: The Costa Rica earthquake of February 27, 1961. Bull. Seism. Soc. Am., 6: 232-235.
- Van Andel, T., Heath, G., Malfait, B., Heinrichs, D. & Ewing, J., 1971: Tectonics of the Panama Basin, eastern equatorial Pacific. Geol. Soc. Am. Bull., 82: 1489-1508.
- Vogt, P.R., Lowrie, A., Brace, D. & Hey, R., 1976: Subduction of aseismic ridges: effects on shape, seismicity, and other characteristics of consuming plate boundaries - 44 págs., Geol. Soc. Am. Special Paper 172.
- Weyl, R., 1980: Geology of Central America - 371 págs.; Gebrüder Borntraeger, Berlin.