

ZONAS DE QUIETUD SISMICA Y PERIODOS DE RECURRENCIA DE GRANDES TEMBLORES A LO LARGO DE LA ZONA DE SUBDUCCION MEXICANA: UNA REVISION

S.K. Singh
L. Astiz
J. Havskov

RESUMEN

Se revisaron los periodos de recurrencia sísmica de grandes temblores someros entre placas a lo largo de la zona de subducción de México, tras combinar la información de un catálogo de sismos del siglo pasado, la relocalización de epicentros de algunos temblores recientes y la redeterminación de magnitudes de grandes temblores someros ocurridos durante este siglo.

El período de recurrencia de temblores con $M_s \geq 7.4$ en seis regiones de México -Colima, Petatlán, San Marcos y el oeste, centro y este de Oaxaca- está entre 32 y 56 años. Las zonas de quietud* de Michoacán y Tehuantepec son asísmicas o tienen periodos de recurrencia anómalamente grandes, ya que durante el presente siglo, y posiblemente en el siglo pasado, no ha ocurrido ningún temblor. Las regiones de Jalisco, Guerrero y Ometepec tienen un potencial sísmico muy grande.

Los datos de este siglo indican que los esfuerzos son liberados principalmente en eventos con $M_s \geq 7.4$. Un modelo sencillo de dislocación con parámetros obtenidos de estudios de temblores recientes explica bastante bien los periodos de recurrencia observados. El valor de b (ver fig 4) no es significativo, observación que es importante en la estimación de riesgo sísmico.

La liberación de momento sísmico (o equivalentemente energía sísmica) desde 1800 aparece durante periodos de 15 años seguidos por otros 15 años de relativa calma

INTRODUCCION

En los últimos años ha sido posible obtener nueva e importante información referente a la sismicidad en México, consistente en: a) la disponibilidad de un catálogo de grandes temblores ($M_s \geq 7.0$) mexicanos del siglo XIX, b) relocalización de algunos eventos ocurridos a principio de este siglo, c) el estudio de los parámetros focales de grandes temblores recientes, y d) la revisión de magnitudes de grandes temblores someros ocurridos en este siglo.

El presente trabajo considera toda esta nueva información para reexaminar las zonas de quietud sísmica y los periodos de recurrencia de grandes temblores someros ocurridos entre placas a lo largo de la zona de subducción de México.

El catálogo de temblores del siglo pasado es especialmente útil ya que extiende el registro sísmico a 180 años, siendo el período de recurrencia, a lo largo de esta zona de subducción, 30 a 50 años (Kelleher *et al.*, 1973). Este estudio no va más allá del SE de Tehuantepec ya que el catálogo de temblores del siglo XIX solo contiene temblores situados al NW de esta zona y además por que la misma se encuentra muy cerca del punto de triple unión entre las placas de Cocos (Coco), Norte América (NOAM) y el Caribe (CARB) por lo que divide a las provincias tectónicas al NW y al SE de ésta. Nos limitaremos, entonces a temblores ocurridos a lo largo de la zona de subducción entre Jalisco ($20^\circ N$, $105.5^\circ W$) y Tehuantepec ($15^\circ N$, $94.5^\circ W$), cuya longitud es, aproximadamente, 1350 km.

DATOS

En la tabla 1 se presenta el catálogo de grandes temblores ($M_s \geq 7.0$) ocurridos en México en el siglo pasado (Singh *et al.*, 1980a). Hay que recalcar que la precisión de los epicentros y las magnitudes es de aproximadamente $\pm 1^\circ$ y ± 0.3 unidades, respectivamente. Sin embargo, las magnitudes parecen haber sido subestimadas (Singh *et al.*, 1980a). A pesar de que este catálogo está incompleto para eventos $M_s \geq 7.0$ (véase discusión posterior), se cree que solo algunos eventos con $M_s \geq 7.5$ se han perdido, aunque algunos de ellos se les puede haber asignado un valor menor de M_s .

* En una zona de quietud asísmica no han ocurrido temblores con $M_s \leq 7$

La localización de los epicentros se encuentra en la figura 1, a excepción del evento 17 que se encuentra muy al norte (31.0°N , $109,2^{\circ}\text{W}$). Los cuadros oscuros representan eventos someros ($h \leq 60$ km) localizados entre las placas.

El catálogo de grandes temblores de este siglo entre 15 y 20° de latitud norte y 94.5 y 105.5° de longitud Oeste se muestra en la tabla 2. Este catálogo fue recopilado de varias fuentes, si para un evento existen datos de varios autores se lista el que se considera más confiable. Si un evento ha sido relocalizado por un estudio especial es el que aparece en la tabla 2. Los epicentros de temblores de 1900-1917 dados por Figueroa (1970) se consideran más confiables que los de otros catálogos ya que la determinación instrumental de epicentros a partir de la red mundial no era muy confiable en ese entonces. Los epicentros de Figueroa fueron determinados a partir de datos de la red sísmica mexicana y de mapas de isosistas. Si la magnitud del evento ha sido revisada por Geller y Kanamori (1977), Abe y Kanamori (1980) o por Kanamori y Abe (1979) se lista en la tabla 2.

Miyamura (1976) ha publicado un catálogo provisional de grandes temblores ($M \geq 6.75$) no listados en el catálogo de Gutenberg y Richter (1954) en la parte central de América. Los eventos con $M \geq 7.0$ del catálogo de Miyamura, localizados en el área de interés ($15-20^{\circ}\text{N}$, $94.5-105.5^{\circ}\text{W}$) están dados en la tabla 3. De hecho, el evento 3 se encuentra listado en Gutenberg y Richter (1955) y Duda (1965). El reporte de los daños para este evento (Figueroa, 1973) es congruente con el epicentro reportado por Gutenberg y Richter (1954). El evento 4 se encuentra en Duda (1965) (evento 12 de la tabla 2). De los 8 eventos restantes en la tabla 3 solamente los 5, 6, 8 y 10 (todos con $M \geq 7.0$) parecen ser someros y entre placas. Sin embargo, la asignación de magnitudes de Miyamura (1976) está hecha en base al número de estimaciones que reportan lecturas de P en cierto intervalo de tiempo y no con base en la máxima amplitud de onda de cierto período (Geller y Kanamori, 1977; Richter 1958, Gutenberg, 1945), por lo que se excluyen estos eventos de este estudio. Como se verá más adelante la inclusión o exclusión de dichos eventos no afecta las conclusiones de este trabajo.

Comparando las tablas 2 y 3 observamos que en el siglo pasado solo ocurrieron 22 temblores someros y en

tre las placas (se excluye el evento 17) con $M_S \geq 7.0$. Mientras que en lo que va del siglo han ocurrido 37 eventos con $M_S \geq 7.0$ (22 eventos con $M_S \geq 7.5$). Lo anterior puede deberse a que el catálogo de temblores del siglo pasado se encuentre incompleto para $M_S \geq 7.0$. Los epicentros de temblores someros ($h \leq 60$ km) de este siglo se encuentran localizados con círculos negros en la fig 2. Los eventos 3 (14 de enero 1903 $M_S = 8.1$) y 12 (29 de diciembre, 1917, $M_S = 7.7$) están situados mar adentro, sin embargo no es muy claro si estos eventos están mal localizados y sean, en realidad, eventos entre las placas.

Los sismogramas de la red mexicana para el evento 12 se encuentran perdidos o trasapelados. Los periódicos del 30 de diciembre de 1917 reportan que un temblor con epicentro a 518 km de la ciudad de México, en las cercanías de la costa de Oaxaca y Tehuantepec (Servicio Sismológico Nacional), fue sentido en la ciudad de México a las 22 h 51 min (tiempo de Greenwich) el 29 de diciembre de 1917. Es curioso que no hubo reporte de daños en Oaxaca o en algún otro lugar de México. Es posible entonces, que el epicentro se encuentre situado más allá de la trinchera. Debe notarse, que ese mismo día (29 de diciembre de 1917), 2 1/2 horas antes, un temblor destruyó la ciudad de Guatemala de ahí que los reportajes en los periódicos se enfocaran sobre este evento y se pasaran inadvertidos los daños causados por el evento 12. No fue posible verificar los daños del evento 3 ya que la Hemeroteca Nacional aún se encuentra fuera de servicio. Ninguno de estos eventos aparece en el catálogo de Figueroa (1970). En la siguiente discusión se consideran ambos temblores como eventos dentro de la placa.

Los parámetros focales (Kanamori y Anderson, 1975) de 4 macrosismos mexicanos someros a lo largo de la placa se dan en la tabla 4. Ha sido incluido en este análisis el evento de Chiapas de 1970 a pesar de que está situado al SE de la región de interés. A excepción de dicho evento, las áreas de réplicas han sido estimadas a partir de datos recopilados en sismógrafos portátiles en el campo.

La caída de esfuerzo, $\Delta\sigma$ se calculó usando el modelo de ruptura elíptica (Eshelby, 1957) que es aplicable a fallas someras (normales o inversas) y está dado por

$$\Delta\sigma = \frac{M_0}{CAW} \quad (1)$$

donde

$$C(W/L) = 4/|3E(k) = \frac{W^2}{L^2} (K(k) - E(k))/k^2|,$$

$$k^2 = 1 - W^2/L^2, \quad (2)$$

$K(k)$ y $E(k)$ son integrales elípticas completas de la y 2a clases respectivamente, W = ancho de la falla; L = longitud de la falla; $A = LW$ (área) y M_0 = momento sísmico. La caída de esfuerzo, $\Delta\sigma$, para el evento de Chiapas se muestra entre parentésis ya que el área de ruptura seguramente ha sido sobrestimada; para los otros 3 eventos es 10 bars que es menor que el promedio mundial 15 bars (este dato se obtuvo corrigiendo por superficie libre el dato $\Delta\sigma = 30$ bars dado por Kanamori y Anderson, 1975).

ZONAS DE QUIETUD SISMICA Y PERIODOS DE RECURRENCIA

Como la longitud de ruptura asociada a grandes temblores a lo largo de la zona de subducción mexicana es ≤ 100 km (tabla 4, Kelleher *et al*, 1973), para definir períodos de recurrencia y zonas de quietud sísmica la localización de los eventos debe errar en menos de $\pm 1/2^\circ$. A excepción de los eventos más recientes (tabla 4) no se tiene esta precisión en las localización de los eventos a lo largo de esta zona. Sin embargo la lectura cuidadosa de los reportes de daños, aunada a la localización instrumental, nos proporciona una información más confiable respecto a si el área de ruptura de un temblor es la misma que la de eventos anteriores. Pero aún este criterio subjetivo no es aplicable en todas las regiones ya que la densidad de población no es uniforme. Los datos del siglo pasado requieren aún de más cautela debido a errores en la localización y a que el catálogo posiblemente no está completo.

Por dichas razones para definir los períodos de recurrencia y zonas de quietud sísmica no usaremos todos los datos y nos limitaremos para cada región a un cierto intervalo en que consideremos la información completa y confiable.

ZONAS DE QUIETUD SISMICA

Las zonas de quietud sísmica a lo largo de la zona de subducción mexicana han sido estudiadas por Kelleher *et al* (1973) y Mc Cann *et al* (1979). Los últimos temblores de Colima (30 de enero de 1973, $M_S = 7.5$), Oaxaca (29 de noviembre de 1978, $M_S = 7.8$) y Petatlán (14 de marzo de 1979, $M_S = 7.6$) han ocurrido en las zonas de quietud propuestas por estos autores.

En las fig 1,2 y 3 se observa que las zonas de quietud de Michoacán y Tehuantepec no han experimentado ningún gran evento somero en este siglo y, posiblemente, tampoco en el siglo pasado. De ahí que o tiene períodos de recurrencia anormalmente grandes o bien son asísmicos para grandes eventos Keller *et al* (1973) y Mc Cann *et al* (1973) consideraron a la zona de quietud de Michoacán con un potencial sísmico elevado ya que el temblor de 7 de junio de 1911, $M_S = 7.7$, (evento 8, tabla 2) fue localizada por Gutenberg y Richter (1954) en dicha zona ($17.5^\circ N$, $101.^\circ W$). Sin embargo en los últimos años se ha mostrado que el epicentro dado por estos últimos autores está alejado 280 km del epicentro verdadero cercano a $19.7^\circ N$, $103.7^\circ W$ (Singh *et al*, 1980b). Vale la pena recordar que el catálogo de temblores del siglo pasado esta incompleto y la posibilidad de que estas zonas de quietud hayan experimentado algún temblor no puede descartarse.

La posibilidad de que la zona de quietud de Tehuantepec sea asísmica para grandes temblores ha sido explicada por Kelleher y Mc Cann (1976) relacionándola con la subducción asísmica de la Cordillera de Tehuantepec. La zona de quietud de Tehuantepec se encuentra cerca de un punto de unión triple y es también una zona de transición; la geometría de la zona de Benioff al NW de la zona de Tehuantepec es muy diferente a la del SE de ella. En ambos lados de la zona de quietud de Michoacán encontramos una actividad sísmica similar (para grandes eventos). La zona de fracturamiento de Orozco intersecta la trinchera hacia el SE de la zona de quietud de Michoacán. El potencial sísmico de esta es desconocido y cae en la categoría 3 de Mc Cann

et al (1979) (registro histórico incompleto, ninguna indicación de algún gran temblor ocurrido en el pasado etc).

Una gráfica espacio-temporal de eventos someros y entre placas desde 1800 se muestra en la fig 3. A partir de 1899, en que se obtienen magnitudes instrumentales, se da la localización de los eventos (triangulares) así como en magnitud. Las líneas punteadas que unen los triángulos muestran la desviación en la localización de los eventos entre 1899 y 1917, de las reportadas por Gutenberg y Richter (1954) y Duda (1965), las flechas apuntan hacia la localización más confiable dada en la tabla 2. A partir de 1923 se indica el área de ruptura, de 1928 a 1970 se tomaron de Kelleher et al (1973) y para los últimos años de las referencias en la tabla 4. Ohtake et al (1977) y Singh et al (1980c). De la gráfica espacio temporal las zonas de quietud de Jalisco y Guerrero aparecen como las regiones con mayor potencial sísmico a lo largo de la zona de subducción de México, ya que los últimos temblores con $M_S \geq 7.0$ ocurrieron hace 48 y 69 años respectivamente. La región de Ometepec (98.5°N) no ha experimentado ningún temblor grande en los últimos 30 años, de ahí que se considere como sísmica.

ESTADÍSTICAS DE GRANDES TEMBLORES

La fig 4 muestra la gráfica de número de eventos someros y entre placas, N , con magnitud mayor que M_S versus M_S para los períodos de 1899- 1979 y 1904-1979. Se cree que el catálogo de grandes temblores con $M_S \geq 7.0$ está completo desde 1904 (Duda, 1965). En la fig 4, se observa una carencia de eventos en el intervalo de $7.0 \leq M_S \leq 7.4$ con respecto a lo esperado por la relación de Gutenberg y Richter $\log N = a - bM_S$. Ajustando una recta con $b = 1.5$ para eventos con $M_S \geq 7.4$ se esperan más de 100 eventos de magnitud ≥ 7.0 . El hecho de que el número observado sea solo una tercera parte de éste no puede atribuirse a una carencia en el catálogo. La adición de 4 eventos con $M_S \geq 7.0$ del catálogo de Miyamura (1976) no cambia en nada esta observación. De ahí que se concluye que el esfuerzo en las zonas de subducción se libera, principalmente, en temblores con $M_S \geq 7.4$. Esta observación es de gran importancia en la estimación del riesgo sísmico ya que dichos estudios se basan en la validez de la relación de Gutenberg y Richter. Es importante notar que probablemente no existen problemas de saturación

de la escala M_S Kanamori, 1977; Singh y Havskov, 1980) ya que la dimensión de ruptura máxima raramente excede los 100 km.

PERIODOS DE RECURRENCIA

Seis regiones, en donde los datos muestran que temblores con $M_S > 7.4$ han roto por lo menos dos veces la misma área en los últimos 180 años, y donde tenemos la seguridad que ningún evento se ha perdido en el período intermedio, se dan en la tabla 5. Por ejemplo, la tabla muestra que en Petatlán (17.3° N, 101.4° W) han ocurrido temblores en 1943 ($M_S = 7.5$) y en 1979 ($M_S = 7.6$). Esto no significa, sin embargo, que entre 1800 y 1942 esta región no haya tenido temblores similares. La región, probablemente, se rompió en grandes eventos en este período y es muy probable que grandes eventos ($M_S > 7.4$) hayan ocurrido antes de 1943 con un período de recurrencia promedio de 34 años. Sin embargo, nuestro conjunto de datos es muy pobre para demostrarlo.

En las cuatro regiones en que se han utilizado datos del siglo pasado, si el año en que ocurrió el temblor aparece en paréntesis cuadrados significa que no es muy confiable su localización.

Las seis regiones consideradas en la tabla 5 muestran períodos de recurrencia entre 32 y 56 años. No es posible determinar los períodos de recurrencia de otras regiones debido a la poca confiabilidad de los datos. (por ejemplo Jalisco) y/o debido a períodos de recurrencia muy grandes (por ejemplo NII Guerrero). Para Jalisco (alrededor de 20°N, 105°W) Kelleher et al (1973) y Rikitake (1976) consideran que los temblores de 1932 (eventos 18 y 19 tabla 2) rompieron la misma área que los eventos de 1990 (eventos 1 y 2). De las figuras 1 y 3 parece que la misma área se pudo haber roto en 1937 y 1975, lo que da un período de recurrencia promedio de 32 años. Sin embargo, consideramos que la localización de los eventos es muy pobre para asegurar que dichos eventos rompieron la misma área. Es más, la trinchera al NII de esta región a 18.6°W y 105°W aproximadamente, representa, muy probablemente, la zona de convergencia entre las placas de Rivera (RIVE) y Norte América (NOAII).

ESTIMACION DE PERIODOS DE RECURRENCIA DE GRANDES TEMBLORES

Molnar (1979) y Anderson (1979) han propuesto un formalismo en términos de desplazamientos sísmicos promedio y del valor de b para determinar períodos de recurrencia de temblores con un cierto momento sísmico. Sin embargo, de la discusión anterior y de la fig 4, es claro que este formalismo no es aplicable a la zona de subducción mexicana. Parece más adecuado un modelo en que el desplazamiento sísmico en una región ocurre en temblores con $M_S \geq 7.4$. Considerando un modelo de ruptura elíptica para grandes temblores someros entre placas, tenemos a partir de la ec (1) que el desplazamiento promedio \bar{u} sobre la falla durante un temblor está dado por:

$$\bar{u} = \frac{C \Delta\sigma W}{\mu} \quad (3)$$

tal que el momento sísmico $M_0 = \mu A \bar{u}$, donde $\mu =$ rigidez. Sea v la velocidad relativa entre las placas de COCO-NOAM a lo largo de la zona de subducción y $\eta =$ desplazamiento sísmico/desplazamiento total. Entonces el período de recurrencia T_R para un temblor con desplazamiento \bar{u} , longitud L y ancho W dado por:

$$\eta v T_R = \bar{u} = \frac{C \Delta\sigma W}{\mu} \quad (4)$$

Entonces

$$T_R = \frac{C \Delta\sigma W}{\mu \eta v} \quad (5)$$

Sykes y Quittmayer (1979) también han utilizado la ec (5) en el cálculo de períodos de recurrencia de grandes temblores a lo largo de zonas de subducción.

De la tabla 4 tenemos que para los 3 eventos más recientes ($M_S = 7.5, 7.8, 7.6$) con parámetros focales confiables $W = 70$ km, $W/L \approx 0.8$, $C(0.8) = 0.83$ (de la ec 2) y $\Delta\sigma = 10$ bars. Estos valores son posiblemente los típicos para eventos grandes ($7.4 \leq M_S \leq 7.9$) a lo largo de esta zona de subducción. A partir del polo de rotación y de la velocidad angular de las placas COCO-NOAM (Minster y Jordan, 1978), la velocidad de convergencia promedio obtenida es 6.4 cm/año. A partir de estos valores y considerando $\mu = 3.3 \times 10^{11}$ dina/cm², la ec

(5) da:

$$T_R = 28/\eta \text{ (años)} \quad (6)$$

ESTIMACION DE η

Un promedio de η puede estimarse usando el momento sísmico promedio M_0 calculado a partir de los eventos que han ocurrido sobre la interfase de las placas (Brune 1980); Davis y Brune, (1971). El ancho W de la interfase considerado en este cálculo corresponde al ancho del área de ruptura de grandes temblores, para esta zona $W = 70-90$ km (tabla 4; Kelleher et al, 1971). Dado que

$$M_0^\Sigma = M_0^\Sigma / \tau \quad (7)$$

donde $M_0^\Sigma =$ suma de momento sísmico en un lapso de tiempo τ , entonces

$$\eta v = \frac{M_0^\Sigma}{\mu A} = \frac{M_0^\Sigma}{\mu L W \tau} \quad (8)$$

Pero como M_0 solo ha sido obtenido para algunos eventos (tabla 4) se necesita transformar M_S en M_0 para los eventos restantes. La teoría sugiere que M_0 está relacionada con M_S por (Kanamori y Anderson, 1975; Hanks y Kanamori, 1979).

$$\log M_0 = 1.5 M_S + d \quad (9)$$

Para eventos entre placas $d = 16.1$, a partir de datos de la Red Mundial (Kanamori, 1977; Singh y Havskov, 1980). Esta relación junto con los datos de la tabla 4 se muestran en la fig 5. La figura también muestra la relación utilizada por Davies y Brune (1971) en su estudio estimativo de desplazamientos promedio a partir de datos sísmicos. Aunque son solo 4 los datos en la fig 5, estos eventos han ocurrido a todo lo largo de la zona de subducción mexicana, de ahí que puedan considerarse representativos de esta área. A partir del ajuste por mínimos cuadrados para estos datos, se obtiene $d = 16.0$ en la ec (9). Es claro que cuatro puntos son muy pocos para definir d , pero parece razonable considerar que $15.9 \leq d \leq 16.1$. La tabla 6 muestra los valores de η tomando $W = 70$ y 90 km y $d = 15.9$ y 16.1. Todos los eventos someros ($h \leq 60$ km), entre placas de 1899 a 1979 han sido incluidos en la estimación de M_0 . La inclusión de eventos con $h \leq 60$

km implica que la inclinación de la superficie de contacto entre las placas es de 40° a 60° . Sin embargo a partir de mecanismos focales (e.g. Molnar y Sykes, 1979; Dean y Drake, 1978) y de la localización de réplicas de grandes temblores (e.g. Reyes *et al.*, 1979; Singh *et al.*; 1980) a lo largo de esta zona de subducción, sugieren un echado $\leq 30^\circ$. Para $w = 70$ a 90 km y echado = 30° deberíamos haber considerado únicamente, eventos con $h = 35$ a 45 km. Es posible que los eventos en la tabla 2 listados como someros tengan, en realidad, profundidades menores o iguales a 45 km. A partir de 1973 los eventos entre placas en esta zona han sido muy bien estudiados y tienen profundidades menores que 35 km. Si alguno de los eventos incluidos en la estimación de M_0 tuviera realmente, una profundidad mayor a 45 km, η estaría sobrestimada. Sin embargo, éste sería compensado por la subestimación de η por no tomar en cuenta eventos con $M_S < 7.0$.

Dependiendo de la selección de d en la ec (9) y de W , η toma valores entre 0.4 y 0.8 (tabla 6). De lo que resultan períodos de recurrencia entre 35 y 70 años que coinciden bastante bien con los períodos de 32 y 54 años observados en algunas regiones (tabla 5).

Vale la pena mencionar los errores posibles en los parámetros que entran en la estimación del período de recurrencia T_R en la ec (5). La constante C , depende de la relación del eje menor W , y el eje mayor L de una falla de área elíptica y el valor de $W/L = 0.8$ está probablemente dentro de un intervalo de $\pm 25\%$ del valor real de cualquier región a lo largo de esta zona. El valor de μ se cancela, ya que también aparece en la estimación de η (ec 8). $\Delta\sigma$ puede variar por un factor de 2. Un valor de $W = 70$ km para $7.5 \leq M_S \leq 7.8$ es razonable, aunque el error pudiera ser de $\pm 50\%$ para algunas regiones y para magnitudes fuera de este intervalo. V se conoce con un error de $\pm 20\%$ (Minsster y Jordan, 1978). La más importante y única incertidumbre para una región dada es el valor de η . Sin embargo la incertidumbre en el valor promedio de η para toda la zona de subducción se reduciría considerablemente de disponerse de más parámetros focales de temblores en esta zona. a) al incrementar y mejorar la información sísmica histórica, b) la obtención de parámetros sísmicos relevantes como deformación del terreno y c) estudiando las fallas del Cuaternario. Así, la ec (5) puede explicar períodos de

recurrencia promedio, pero su predicción es mínima para límite de placas como la zona de subducción mexicana, donde los datos sísmicos con calidad razonable solo se extienden a lo mucho a 180 años.

AGRUPAMIENTO DE MOMENTOS SISMICOS EN EL TIEMPO

Una gráfica de la liberación de momentos sísmicos (calculada con $d = 15.0$ en la ec (9)) versus años, empezando en 1800 , se muestra en la fig 6. La parte superior de la figura incluye todos los eventos de las tablas 1 y 2 a excepción del evento 17 de la tabla 1; en la parte inferior se incluyen únicamente eventos someros entre placas. Como se mencionó anteriormente, las magnitudes de los eventos del siglo pasado se encuentran, posiblemente, subestimadas, lo que también se sugiere en la fig 6.

Recalcamos que aunque el catálogo de la tabla 1, está posiblemente, incompleto es improbable que eventos con $M_S \geq 7.5$ se hayan perdido, sin embargo se les puede haber asignado una magnitud menor. Esto es, el catálogo se encuentra más completo para eventos mayores. La fig 6 también muestra ventanas de 1800 a 1945 , que han sido trazadas a ojo, que incluyen la mayoría del momento sísmico. Es interesante notar que los centros de estas ventanas están casi equiespaciadas en tiempo con un promedio de 30.5 años y en un intervalo de 27 a 32 años tanto para la parte superior como inferior de la figura. El promedio de las ventanas en tiempo es de 15 años para todos los eventos y de 13.6 años para eventos someros y entre placas. Estas ventanas de tiempo predicirían un agrupamiento de actividad entre 1959 y 1973 , centrada en 1966 (en la fig 6 se muestra con línea punteada). Sin embargo, la sismicidad observada no muestra ese agrupamiento, es más, los eventos de Oaxaca (29 nov 1978) y de Petatlán (14 Mar 1979) caen fuera de la ventana.

El porcentaje de momento sísmico y número de eventos que caen dentro de las ventanas se da en la tabla 7. Estos porcentajes no son muy significativos ya que los momentos sísmicos son pesados en gran medida por la sismicidad entre $1899-1911$ y $1923-1943$, así mismo el número de eventos da, injustamente, el mismo peso a eventos de diferentes magnitudes. No obstante, parece que entre 1800 y 1945 la liberación de momento

sísmico (o lo que es lo mismo, energía sísmica liberada) ocurre en períodos de aproximadamente 15 años con relativa calma de los 15 años siguientes: Un modelo simple de difusión de esfuerzo en una astenosfera viscosa, después de un gran temblor (Anderson, 1975) puede explicar esta observación. La carencia de agrupamiento entre 1959 y 1973 puede deberse a un estado de *relajamiento* de la frontera de las placas convergentes, después de dos ciclos de intensa actividad; los pulsos de esfuerzo difusivo no encontraron regiones cercanas a su punto de ruptura.

CONCLUSIONES

1. La historia sísmica a lo largo de la zona de subducción mexicana muestra que las regiones de Tehuantepec y Michoacán no han experimentado un temblor en este siglo y quizá tampoco en el siglo pasado. Ambas regiones deben ser asísmicas o tener períodos de recurrencia anormalmente grandes. Las regiones de Guerrero y Jalisco se presentan como zonas de quietud sísmica de gran potencial. La región de Ometepec ($98.5^{\circ}W$) no debe considerarse como zona de quietud, ya que el último gran temblor ocurrió hace 30 años aproximadamente.
2. El promedio de recurrencia para grandes temblores ($M_S \geq 7.4$) en seis regiones a lo largo de la zona de subducción (Colima, Petatlán, San Marcos y el oeste, centro y este de Oaxaca) están entre 32 y 56 años. La falta de periodicidad en otras regiones puede deberse a que el catálogo del siglo pasado no esté completo, o a imprecisiones de éste, y/o a períodos de recurrencia mayores o irregulares para grandes eventos.
3. Una gráfica del número de eventos con magnitud $\geq M_S$ versus M_S (fig 5) muestra que hay carencia de eventos en el intervalo de magnitudes de $7.0 \leq M_S < 7.4$ en comparación con lo que se podría esperar de la relación de Gutenberg y Richter, $\log N = a - bM_S$. Que esta relación no se cumpla para la zona de subducción mexicana tiene importantes consecuencias en la estimación de riesgo sísmico. Además sugiere que los períodos de recurrencia observados puedan ser explicados considerando que la

mayoría del esfuerzo en cualquier región somera del límite entre placas se libera en grandes eventos aislados. ($M_S \geq 7.4$). Consideraciones razonables acerca de las dimensiones del área de ruptura y de la caída de esfuerzo, basadas en parámetros focales observados de algunos temblores recientes, sugiere un período de recurrencia, T_R , de $28/\eta$ años para temblores con $7.4 \leq M_S \leq 7.9$, donde η = desplazamiento sísmico/desplazamiento total. Puesto que en promedio $\eta = 0.4$ a 0.8 , $T_R = 35$ a 70 años, lo que concuerda razonablemente con los períodos de recurrencia observados.

4. Los datos desde 1800 a 1945 sugieren incrementos en la liberación de momento sísmico en períodos de 15 años seguidos de 15 años de relativa calma. Sin embargo el incremento esperado entre 1959 y 1973 no se confirma, lo que puede deberse a una intensa actividad en los dos ciclos anteriores que pudieran haber dejado la frontera entre las placas en un estado de relajamiento. Así, los grandes temblores ocurridos en el último ciclo no disparan otros a lo largo de la zona de subducción.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos las fructíferas discusiones con J. N. Brune, L. Esteva, C. Lomnitz y R. Meli. C. Lomnitz, L. Esteva, M. Chávez y E. Nyland leyeron el manuscrito e hicieron valiosas sugerencias. S. de la Cruz nos prestó su programa de filtros predictivos.

REFERENCIAS

1. Abe, K. and H. Kanamori (1980). Magnitudes of great shallow earthquakes from 1953 to 1977, Tectonophysics 62, 191-203.
2. Anderson, D.L. (1975). Accelerated plate tectonics, Science 187, 1077-1079.
3. Anderson, J.G. (1979). Estimating the seismicity from geological structure for seismic-risk studies, Bull. Seism. Soc. Am. 69, 135-158.
4. Atwater, T. (1970). Implications of plate tectonics for the Cenozoic tectonic evolution of western North America, Geol. Soc. Am. Bull. 81, 3513-3536
5. Bath, M. and S. J. Duda (1979). Some aspects of global seismicity, Report N° 1-79, Seismological Institute, Uppsala, Sweden.
6. Brune, J. N. (1968). Seismic moment, seismicity and rate of slip along major fault zones, J. Geophys. Res. 73, 777-784.
7. Davies, G. F. and J. N. Brune (1971). Regional and global fault slip rates from seismicity, Nature 229, 101-107.
8. Dean, B. W. and C. L. Drake (1978). Focal mechanism solutions and tectonics of the middle America arc, J. Geology 86, 111-128.
9. Duda, S.J. (1965). Secular seismic energy release in the circum Pacific belt, Tectonophysics 2, 409-452.
10. Eshelby, J. D. (1957). The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems, Proc. Roy. Soc. A241, 376-396.
11. Figueroa, J. (1970). Catálogo de sismos ocurridos en la República Mexicana, Report N° 272, Instituto de Ingenierfa, U.N.A.M., México.
12. Figueroa, J. (1973). Sismicidad en Chiapas, Report N° 316, Instituto de Ingenierfa, U.N.A.M., México.
13. Geller, R.J. and H. Kanamori (1977). Magnitudes of great shallow earthquakes from 1904 to 1952, Bull. Seism. Soc. Am. 67, 587-598.
14. Gutenberg, B. (1945) Amplitudes of surface waves and magnitudes of shallow earthquakes, Bull. Seism., Soc. Am. 35, 3-12
15. Gutenberg, B. and C.F. Richter (1954). Seismicity of the earth and associated phenomena, Princeton Univ. Press.
16. Hanks, T.C. and H. Kanamori (1979). A moment magnitude scale, J. Geophys. Res. 84, 2348-2350.
17. Jiménez, Z., (1977). Mecanismo focal de siete temblores fuertes ($m_b \geq 5.5$) ocurridos en la región de Orizaba, México, en el periodo de 1928 a 1978, B.S. thesis, Faculty of Science, U.N.A.M.
18. Kanamori, H. (1977). The energy release in great earthquakes, J. Geophys. Res. 82, 2981-2987.
19. Kanamori, H. and D. L. Anderson (1975). Theoretical basis of some empirical relations in seismology, Bull. Seism. Soc. Am. 65, 1073-1095.
20. Kanamori, H. and K. Abe (1979). Reevaluation of the turn-of-the-century seismicity peak, J. Geophys. Res. 84, 6131-6139.
21. Kelleher, J., L. Sykes, and J. Oliver (1973). Possible criteria for predicting earthquake locations and their application to major plate boundaries of the Pacific and Caribbean, J. Geophys. Res. 78, 2547-2585.
22. Kelleher, J. and W. McCann (1976). Bouyant zones, great earthquakes and unstable boundaries of subduction, J. Geophys. Res. 81, 4885-4908.

23. Larson, R.L. and C.G. Chase (1970). Relative velocities of the Pacific, north America and Cocos plates in the middle America region, Earth Planet. Sci. Lett. 7, 425-428.
24. Lomnitz, C. (1977). A procedure for eliminating the indeterminacy in focal depth determination, Bull. Seism. Soc. Am. 67, 533-535.
25. Masters, R.G., J. Berger, and F. Gilbert (1978). Observations from IDA network of the moment tensor of the Oaxaca earthquake, November 29, 1978, Earthquake Notes 49, 46.
26. McCann, W., S.P. Nishenko, L.R. Sykes, and J. Krause (1979). Seismic gaps and plate tectonics: seismic potential for major boundaries, Pageoph 117, 1082-1147.
27. Meyer, R.P., W.D. Pennington, L.A. Powell, W.L. Unger, M. Guzmán, J. Havskov, S.K. Singh, C. Valdés, and J. Yamamoto (1980). A first report on the Petatlán, Guerrero, Mexico earthquake of 14 March, 1979, Geophys. Res. Lett. 7, 97-100.
28. Minster, J.B., and T.H. Jordan (1978). Present day plate motions, J. Geophys. Res. 83, 5331-5354.
29. Miyamura, S. (1976). Provisional magnitudes of middle American earthquakes not listed in the magnitude catalogue of Gutenberg-Richter, Bull. Int. Inst. Seism. Eqke. Eng. 14, 41-46.
30. Molnar, P. (1979). Earthquake recurrence intervals and plate tectonics, Bull. Seism. Soc. Am. 69, 115-133.
31. Molnar, P. and L.R. Sykes (1969) Tectonics of the Caribbean and middle America regions from focal mechanisms and seismicity, Bull. Geol. Soc. Am. 80, 1639-1684.
32. Ohtake, M., T. Matumoto, and G.V. Latham (1977). Seismicity gap near Oaxaca, southern Mexico as a probable precursor to a large earthquake, Pageoph 115, 375-385.
33. Ponce, L., K. McNally, V. Sumin de Portilla, J. González, A. del Castillo, L. González, E. Chael, and M. French (1977-78). Oaxaca, Mexico, earthquake of 29 November 1978: a preliminary report on spatio-temporal pattern of preceding seismic activity and main shock relocation, Geophys. Intern. 17, 109-126.
34. Reichle, M., J.A. Orcutt, A. Reyes, K. Priestley, and J.N. Brune (1978). The 1978 Oaxaca earthquake and the 1973 Colima earthquake: Seismic moment, surface waves and body waves, Earthquake Notes 49, 47.
35. Reichle, M., J.A. Orcutt, and K. Priestley (1979). The 1979 Guerrero, Mexico earthquake: Source mechanism analysis from digital data, Trans. Am. Geophys. Union 60, 893.
36. Reyes, A., J.N. Brune, and C. Lomnitz (1979). Source mechanism and aftershock study of the Colima, Mexico earthquake of January 30, 1973, Bull. Seism. Soc. Am. 69, 1819-1840.
37. Richter, Ch. (1958), Elementary Seismology, W.H. Freeman & Co.
38. Rikitake, T. (1976). Recurrence of great earthquakes at subduction zones, Tectonophysics 35, 335-362.
39. Science Almanac (1975). Tokyo Astronomical Society, Maruzen, Tokyo.
40. Science Almanac (1977). Tokyo Astronomical Society, Maruzen, Tokyo.
41. Singh, S.K. and J. Havskov (1980). On moment-magnitude scale, Bull. Seism. Soc. Am. 70, 379-383.
42. Singh, S.K., M. Guzmán, R. Castro, and D. Novelo (1980 a). A catalog of major nineteenth century earthquakes of Mexico, Bull. Seism. Soc. Am., submitted.
43. Singh, S.K., J. Yamamoto, J. Havskov, M. Guzmán, D. Novelo, and R. Castro (1980 b). Seismic gap of Michoacan, Mexico, Geophys. Res. Lett. 7, 69-72.

44. Singh, S.K., J. Hayskov, K. McNally, L. Ponce, T. Hearn, and M. Vassiliou (1980 c). The Oaxaca, Mexico earthquake of 29 November 1978: a preliminary report on aftershocks, Science 207, 1211-1213.
45. Stewart, G.S. and E. Chael (1978). Source mechanism of the November 29, 1978, Oaxaca, Mexico earthquake - a large simple event, Earthquake Notes 49, 47.
46. Sykes, L.R. and R.C. Quittmeyer (1979). Recurrence times of great earthquakes along convergent plate boundaries, Trans. Am. Geophys. Union 60, 884.
47. Yamamoto, J. (1978). Rupture processes of some complex earthquakes in Southern Mexico, Ph.D. thesis, Saint Louis University.

Fig. 1 Epicentros de grandes eventos ($M_s \geq 7.0$) del siglo pasado entre 15° - 20° latitud Norte y 94.5° - 105.5° de longitud Oeste (tabla 1). Los números se refieren al que tienen en la tabla 1. Para el evento 23 se da la localización de Gutenberg (1956) y la listada en la tabla 1. Ningún epicentro cae en los ZQS de Tehuantepec y Michoacán.

Grandes temblores someros y entre placas ($h \leq 60$ km, $M_s \geq 7.0$)
Otros eventos
Volcanes recientes.

Fig. 2 Epicentros de grandes eventos ($M_s \geq 7.0$) de 1900 a 1979 entre 15° - 20° latitud Norte y 94.5° - 105.5° longitud Oeste (tabla 2). Ningún epicentro cae en los ZQS de Tehuantepec y Michoacán (ver fig 1). Las localizaciones de los eventos 3 y 12, más allá de la trinchera, son dudosas. Ambos eventos se consideran, en este trabajo, como eventos dentro de la placa

Grandes temblores someros y entre placas ($h \leq 60$ km, $M_s \geq 7.0$)
Otros eventos
Volcanes recientes

Fig. 3 Gráfica espacio-temporal de grandes eventos someros entre placas a lo largo de la zona de subducción mexicana. Las regiones que no han experimentado ningún gran evento en 30 años o más se presentan como zonas de quietud sísmica. Los eventos con magnitud instrumental se representan con triángulos abiertos. Los triángulos conectados con líneas punteadas muestran la localización dada por Gutenberg y Richter (1954) y la dada en las tablas 1 y 2 (la punta de flecha señala hacia la localización más confiable). Los números se refieren a los de los eventos en las tablas 1 (1800-1899) y 2 (1900-1979). Las barras horizontales indican dimensiones de ruptura (de 1928 a 1972, después de Kelleher *et al*, 1973) a partir de 1973 según las fuentes lista

Fig. 4 Relación entre número de eventos N con magnitud $\geq M_s$ vs. M_s para los periodos de 1899-1979 y 1904-1979. Se cree que el catálogo de eventos con $M_s \geq 7.0$ está completo a partir de 1904 (Duda, 1965). Se observa una deficiencia en el número de eventos en el intervalo de $7.0 \leq M_s \leq 7.4$, respecto del número esperado a partir de la relación de Gutenberg y Richter: $\log N = a - b M_s$. En el recuadro se muestra la relación de número de eventos vs. M_s .

Fig. 5 Relación $\log M_0$ (momento sísmico) y M_s (magnitud de ondas superficiales). Se dan la relación de datos de la red mundial $\log M_0 = 1.5 M_s + 16.1$ tal que M puede ser M_s o M_w (Kanamori 1977), así como la usada por Davies y Brune (1971). Los datos de 4 eventos en México (tabla 4). Se ajustan a $\log M_0 = 1.5 M_s + 16.0$

Fig. 6 Arriba: Gráfica de momento sísmico vs. años desde 1800 para todos los eventos con $M_s \geq 7.0$ y entre 15° - 20° N y 94.5° - 105.5° W

Abajo: Gráfica igual a la anterior para eventos someros y entre placas. Se muestran las ventanas que incluyen a simple vista, la mayoría del momento sísmico de 1800-1945. La parte central de estas ventanas equidistan 30.5 años y sugieren un agrupamiento en la liberación de momento sísmico de 15 años seguido de otros 15 de relativa calma. El ciclo predicho entre 1959 y 1973 se encuentra en línea punteada. Para el cálculo del momento sísmico se utilizó la relación siguiente $\log M_0 = 1.5 M_s + 15.9$

TABLA 1
 Catálogo de grandes temblores mexicanos ($M_s \geq 7.0$) en el siglo pasado (Singh *et al.*, 1980a)

Nº EVENTO	FECHA	REGION	EPICENTRO		M_s
			Lat°N	Long°W	
1	25 Mar. 1806	Costa de Colima-Michoacán	18.9,	103.8	7.5
2	31 May. 1818	Costa de Colima-Michoacán	19.1,	103.6	7.7
3	4 May. 1820	Costa de Guerrero	17.2,	99.6	7.6
4	22 Nov. 1837	Jalisco	20.0,	105.0	7.7
5	9 Mar. 1845	Oaxaca	16.6,	97.0	7.5
6	7 Abr. 1845	Costa de Guerrero	16.6,	99.2	7.9
7	5 May. 1854	Costa de Oaxaca	16.3,	97.6	7.7
8	19 Jun. 1858	N. Michoacán	19.6,	101.6	7.5
9	3 Oct. 1864	Puebla-Veracruz	18.7,	97.4	7.3
10	11 May. 1870	Costa de Oaxaca	15.8,	96.7	7.9
11	27 Mar. 1872	Costa de Oaxaca	15.7,	96.6	7.4
12	16 Mar. 1874	Guerrero	17.7,	99.1	7.3
13	11 Feb. 1875	Jalisco	21.0,	103.8	7.5
14	9 Mar. 1875	Costa de Jalisco-Colima	19.4,	104.6	7.4
15	17 May. 1879	Puebla	18.6,	98.0	7.0
16	19 Jul. 1882	Guerrero-Oaxaca	17.7,	98.2	7.5
17	3 May. 1887	Bavispe, Sonora	31.0,	109.2	7.3
18	29 May. 1887	Guerrero	17.2,	99.8	7.2
19	6 Sep. 1889	Costa de Guerrero	17.0,	99.7	7.0
20	2 Dic. 1890	Costa de Guerrero	16.7,	98.6	7.2
21	2 Nov. 1894	Costa de Oaxaca-Guerrero	16.5,	98.0	7.4
22	5 Jun. 1897	Costa de Oaxaca	16.3,	95.4	7.4
23	24 Ene. 1899	Costa de Guerrero	17.1,	100.5	7.9

TABLA 2

Catálogo de grandes temblores mexicanos ($M_S \geq 7.0$) entre 1900-1979. Se listan los epicentros entre $15^\circ-20^\circ N$ y $94.5^\circ-105.5^\circ W$.

Nº EVENTO	FECHA	EPICENTRO		M_S	PROFUNDIDAD Km. S= SOMERO (≤ 60 km)
		Lat $^\circ N$	Lon $^\circ W$		
1	20 Ene. 1900	20.0	105.0 ¹	7.9 ²	S ¹
2	16 May. 1900	20.0	105.0 ¹	7.4 ²	S ¹
3	14 Ene. 1903	15.0	98.0 ¹	8.1 ²	S ¹
4	15 Abr. 1907	16.7	99.2 ³	8.0 ⁴	S ¹
5	26 Mar. 1908	16.7	99.2 ³	8.1 ¹	80 ¹
6	27 Mar. 1908	17.0	101.0 ¹	7.5 ¹	S ¹
7	30 Jul. 1909	16.8	99.9 ³	7.4 ⁴	S ¹
8	7 Jun. 1911	19.7	103.7 ^{3, 5}	7.7 ⁴	S ¹
9	16 Dic. 1911	16.9	100.7 ³	7.5 ⁶	50 ⁶
10	19 Nov. 1912	19.3	99.8 ³	7.0 ¹	80 ¹
11	2 Jun. 1916	17.5	95.0 ¹	7.1 ¹	150 ⁶
12	29 Dic. 1917	15.0	97.0 ¹	7.7 ¹	S ¹
13	22 Mar. 1928	16.23	95.45 ⁷	7.5 ¹	S ¹
14	17 Jun. 1928	16.33	96.70 ⁷	7.8 ⁴	S ¹
15	4 Ago. 1928	16.83	97.61 ⁷	7.4 ¹	S ¹
16	9 Oct. 1928	16.34	97.29 ⁷	7.6 ¹	S ¹
17	15 Ene. 1931	16.10	96.64 ⁷	7.8 ⁴	S ¹
18	3 Jun. 1932	19.84	103.09 ⁷	8.2 ⁴	S ¹
19	18 Jun. 1932	19.5	103.5 ¹	7.8 ⁴	S ¹
20	30 Nov. 1934	19.00	105.31 ⁷	7.0 ¹	S ¹
21	26 Jul. 1937	18.45	96.44 ¹⁴	7.3 ¹	85 ¹⁴
22	23 Dic. 1937	17.10	98.07 ⁷	7.5 ¹	S ¹
23	15 Abr. 1941	18.85	102.94 ⁷	7.7 ¹	S ¹
24	22 Feb. 1943	17.62	101.15 ⁷	7.5 ¹	S ¹
25	6 Ene. 1948	17.0	98.0 ¹	7.0 ¹	80 ¹
26	6 Ene. 1948	17.0	98.0 ¹	7.0 ¹	80 ¹
27	14 Dic. 1950	17.22	98.12 ⁷	7.3 ¹	S ¹
28	28 Jul. 1957	17.11	99.10 ⁷	7.5 ⁹	S ¹
29	11 May. 1962	17.25	99.58 ⁷	7.0 ¹	40 ¹
30	19 May. 1962	17.12	99.57 ⁷	7.2 ¹	33 ¹
31	6 Jul. 1964	18.3	100.4 ¹	7.4 ¹	100 ¹
32	23 Ago. 1965	16.3	95.8 ⁸	7.6 ⁸	28 ⁹
33	2 Ago. 1968	16.6	97.7 ⁹	7.4 ⁹	40 ⁹
34	30 Ene. 1973	18.39	103.21 ^{12, 13}	7.5 ⁹	32 ^{12, 13}
35	28 Ago. 1973	18.30	96.54 ¹⁴	7.1 ^{10 11}	82 ¹⁴
36	29 Nov. 1978	15.77	96.80 ¹⁵	7.8 ⁹	20 ¹⁵
37	14 Mar. 1979	17.31	101.35 ¹⁶	7.6 ⁹	30 ¹⁷

1. Duda (1965)
2. Kanamori and Abe (1979)
3. Figueroa (1970)
4. Geller and Kanamori (1977)
5. Singh et al. (1980b)
6. Gutenberg and Richter (1954)
7. Kelleher et al. (1973)
8. Abe and Kanamori (1980)
9. P.D.E. (U.S.G.S.)
10. Bath and Duda (1979)
11. Science Almanac (Tokyo Astronomical Observatory, 1975, 1977)
12. Lomnitz (1977)
13. Reyes et al. (1979)
14. Jiménez (1977)
15. Ponce et al. (1977-78)
16. Meyer et al. (1980)
17. C. Valdés, comunicación personal, 1980.

T A B L A 3

Eventos con $M_s > 7.0$ listados por Miyamura (1976) entre $15^\circ-20^\circ\text{N}$ y $94.5^\circ-105^\circ\text{W}$ supuestamente no reportados por Gutenberg y Richter (1954). Entre paréntesis se dan referencias de datos correspondiente a otras fuentes.

Nº EVENTO	FECHA	TIEMPO H M S	EPICENTRO		PROFUNDIDAD	M_s
			Lat°N,	Long°W		
1	15 Ene. 1913	18,52,06	19.0,	100.0		7.5
2	14 Jun. 1913	08,36,53	20.0,	99.0		7.5
3	30 Mar. 1914	00,41,11	19.0,	96.0		7.5
	(30 Mar. 1914	00,41,18	17.0,	92.5	150 km	7.5) ^{1, 2}
	(30 Mar. 1914		16.8,	92.2		7.5) ³
4	29 Dic. 1917	22,50,20	15.0,	97.0		7.5
	(29 Dic. 1917	22,50,20	15.0,	97.0	S	7.7) ²
5	17 Ago. 1929	23,40,36	16.3,	99.0		7.0
	(17 Ago. 1929	23,41,36	15.9,	98.5		6.0) ³
6	15 May. 1946	22,10,34	15.5,	96.7		7.0
	(15 May. 1946	22,10,42	15.6,	97.0		5.8) ³
7	3 Oct. 1947	23,32,31	18.8,	100.7		7.0
	(3 Oct. 1947	23,32,31	18.6,	100.6	100 km	6.5) ³
8	17 Nov. 1950	19,28,16	16.8,	100.7		7.0-
	(17 Nov. 1950	19,28,16	16.5,	100.4		6.75) ³
9	12 Dic. 1951	01,37,47	16.5,	96.9	130 km	7.0+
	(12 Dic. 1951	01,37,52	16.5,	96.9		6.5) ³
10	28 Dic. 1951	09,20,26	16.9,	98.7	S	7.0+
	(28 Dic. 1951	09,20,14	16.1,	99.6		6.5) ³

1 Tabla 18, evento 625 en Gutenberg y Richter (1954).

2 Duda (1965)

3 Figueroa (1970).

T A B L A 4

Parámetros focales de grandes eventos recientes y entre placas ocurridos a lo largo de la zona de subducción mexicana.

FECHA	EPICENTRO		M_s	M_0 ($\times 10^{27}$) dina-cm	LXW, km ²	$\Delta\sigma$, bars
	Lat°N	Long°W				
29 Abr. 1970	14.45,	92.71	7.2 ³	1.0 ¹	15,000 ²	(0.6)
30 Ene. 1973	18.39,	103.21	7.5 ¹⁰	3.0 ⁴	90 x 70 ⁵	10.0
29 Nov. 1978	15.77,	96.80	7.8 ¹⁰	2.75 ⁶	90 x 70 ⁷	7.4
14 Mar. 1979	17.31,	101.35	7.6 ¹⁰	1.75 ⁸	70 x 64 ⁹	6.7

1. Momento sísmico a partir de ondas de cuerpo (Yamamoto, 1978)

2. Area de las 12 primeras horas de réplicas (Yamamoto, 1978)

3. Promedio de P.D.E., Båth y Duda (1979), y Science Almanac (Tokyo Astronomical Society, 1975, 1977)

4. Reyes et al. (1979)

5. Area de 2 ½ semanas de réplicas, a partir de datos de campo (Reyes et al., 1979)

6. Promedio de Stewart y Chael (1978), Masters et al. (1978), y Reichle et al. (1978)

7. Area de 12 días de réplicas a partir de datos de campo (Singh et al., 1980 c)

8. Reichle et al. (1979)

9. Area de 30 días de réplicas, a partir de datos de campo (Valdés y Zúñiga, comunicación personal, 1980)

10. P.D.E. (U.S.G.S.)

T A B L A 5

Periodos de recurrencia observados de grandes temblores someros y entre placas a lo largo de la zona de subducción mexicana.

Región	Localización aproximada		Año de ocurrencia	Periodo promedio en años.
	Lat°N	Long°W		
Oaxaca	16.2,	95.8	1897(7.4); 1928(7.5); 1965(7.6)	34
Oaxaca	16.0,	96.8	1879(7.9); 1928, 31(7.8, 7.8); 1978(7.8)	54
Oaxaca	16.6,	97.7	[1854(7.7)]; [1894(7.4)]; 1928(7.4); 1968(7.4)	38
San Marcos	16.7,	99.2	[1845(7.9)]; 1907(8.0); 1957(7.5)	56
Petatlán	17.3,	101.4	1943(7.5); 1979(7.6)	36
Colima	18.4,	103.2	1941(7.7); 1973(7.5)	32

T A B L A 6

Relación entre deslizamiento sísmico y deslizamiento total (η) para la zona de subducción mexicana ($L = 1350$ km) $\mu = 3.3 \times 10^{11}$ dina/cm², $v = 6.4$ cm/año

M_0 - M_S relación	$M_0^{\Sigma} \times 10^{28}$ dina-cm (1899 - 1979)	η ($W = 90$ km)	η ($W = 70$ km)
$\log M_0 = 1.5 M_S + 15.9$	7.7	0.37	0.48
$\log M_0 = 1.5 M_S + 16.1$	13.3	0.64	0.82

T A B L A 7

Porcentaje de momento sísmico y número de eventos encontrados en las ventanas de tiempo mostradas en la figura 6.

	Todos los eventos		Eventos Someros y entre placas	
	1800 - 1945	1800 - 1979	1800 - 1945	1800 - 1979
% M_0	93	88	97	89
% N° de eventos	79	73	85	79

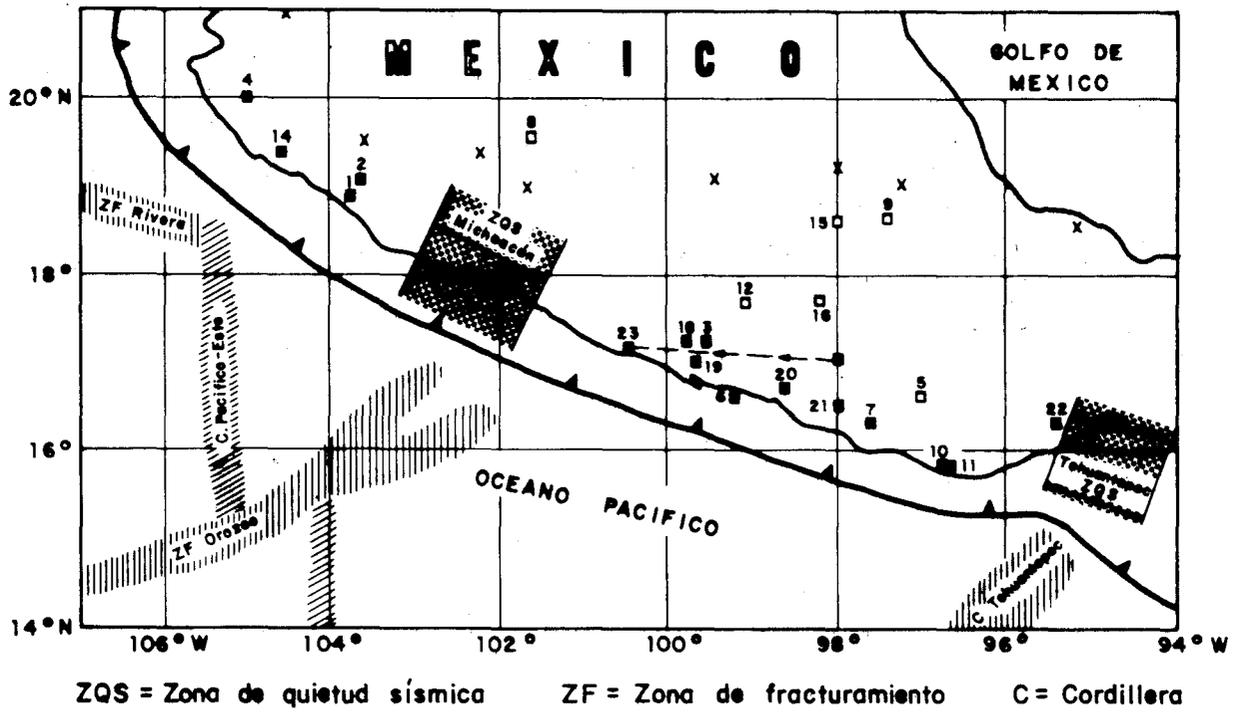


Fig 1

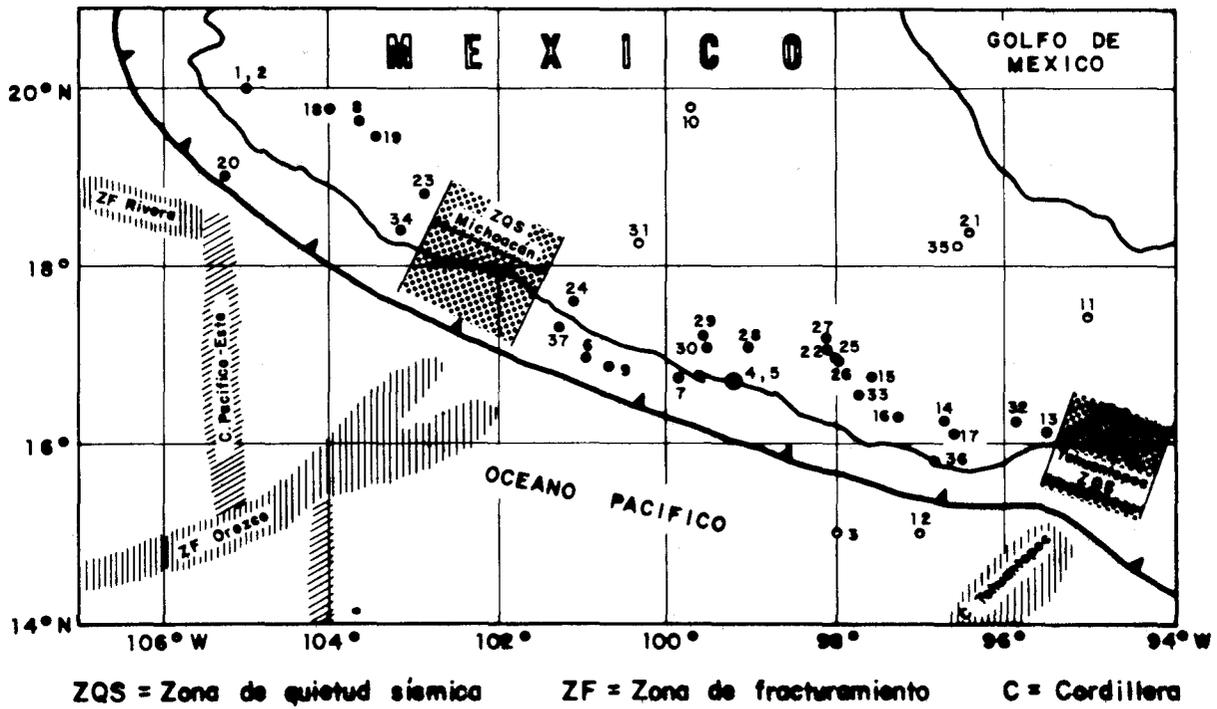


Fig 2

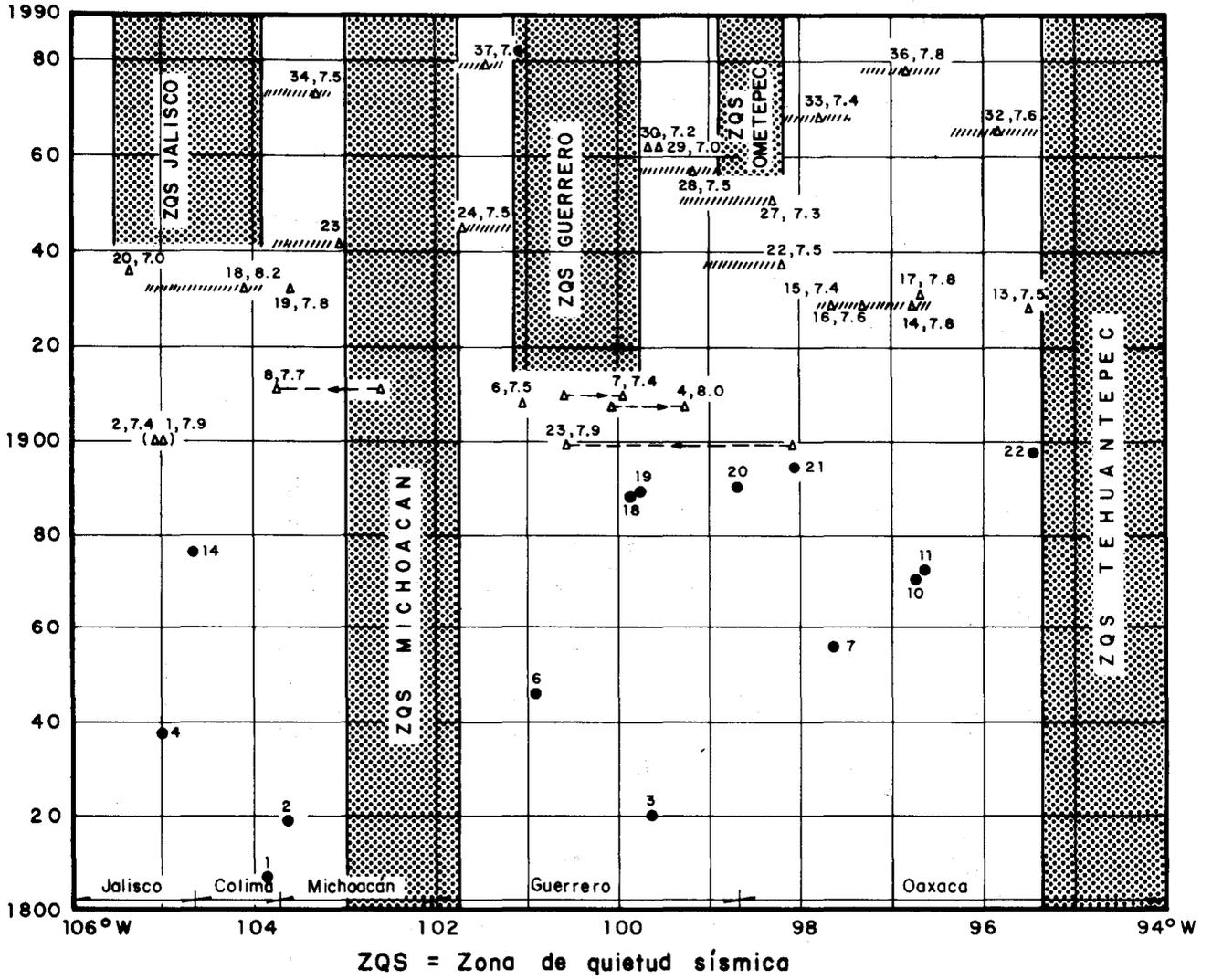


Fig 3

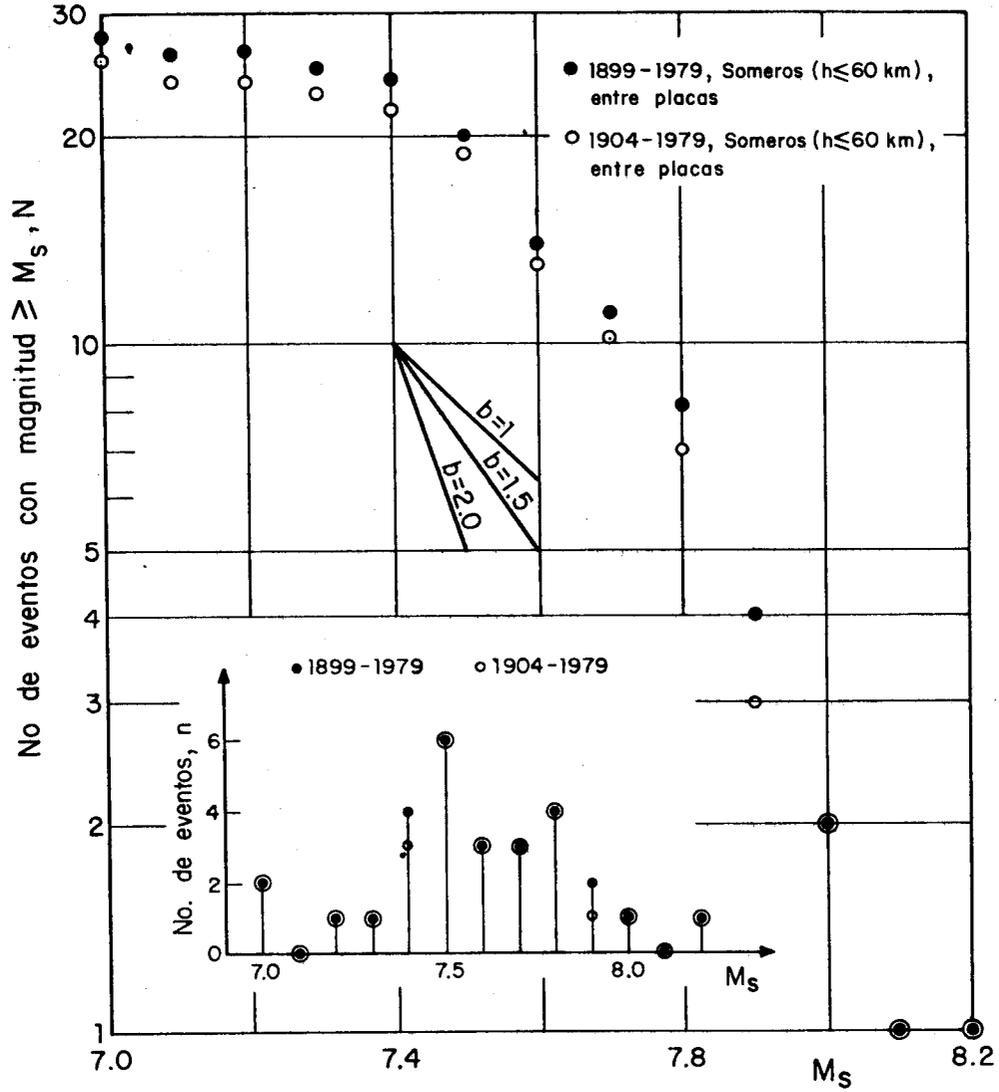


Fig 4

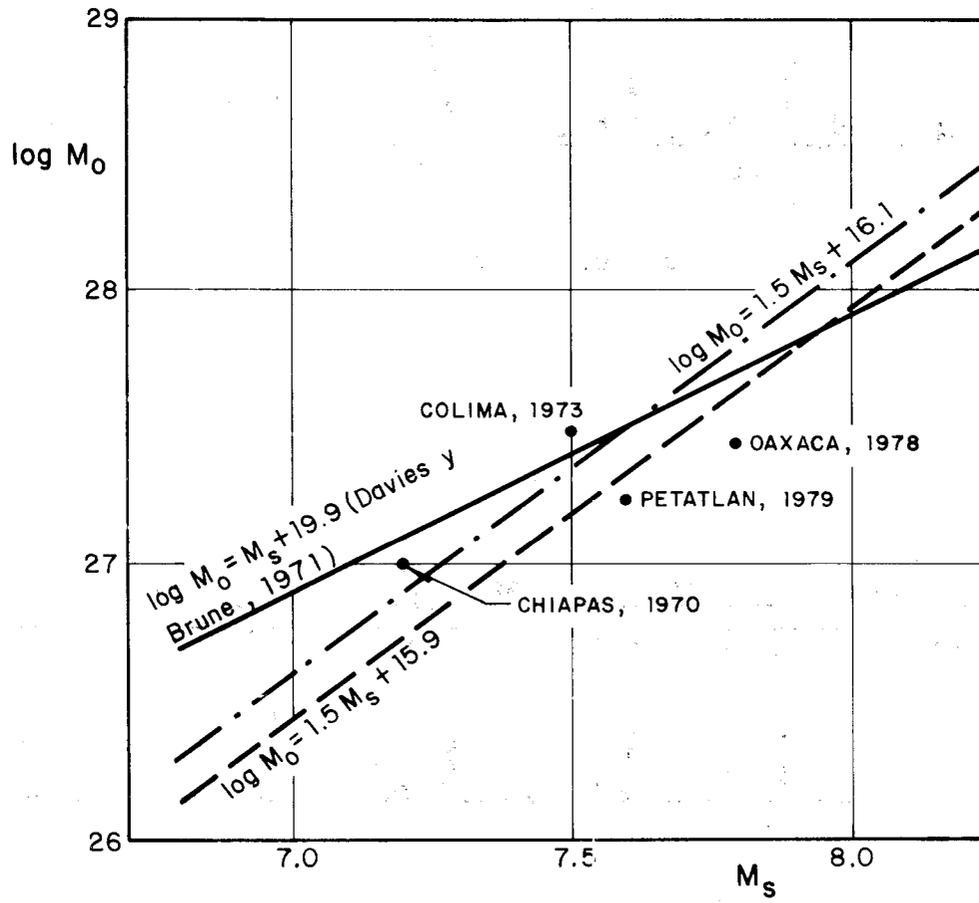
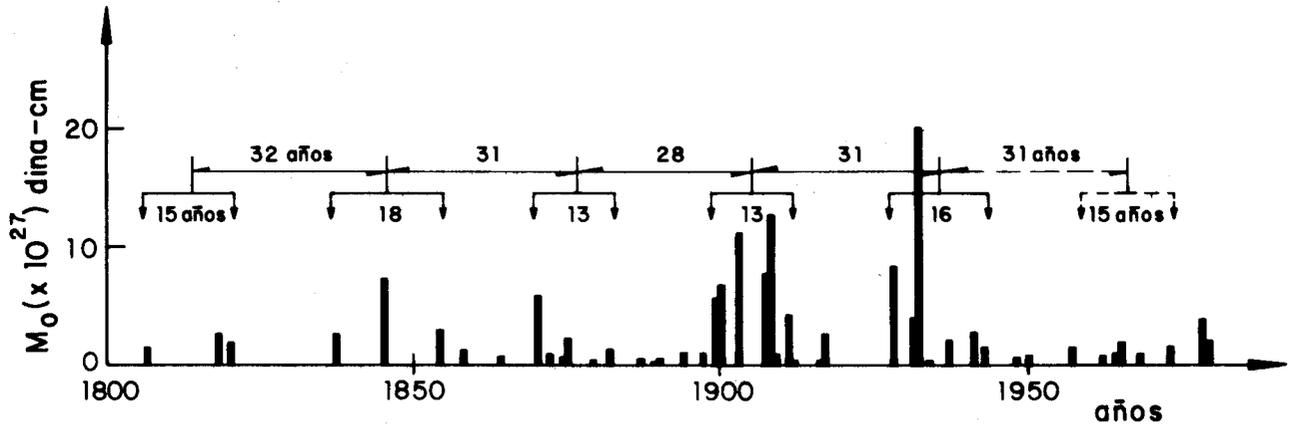


Fig 5



a) Todos los eventos

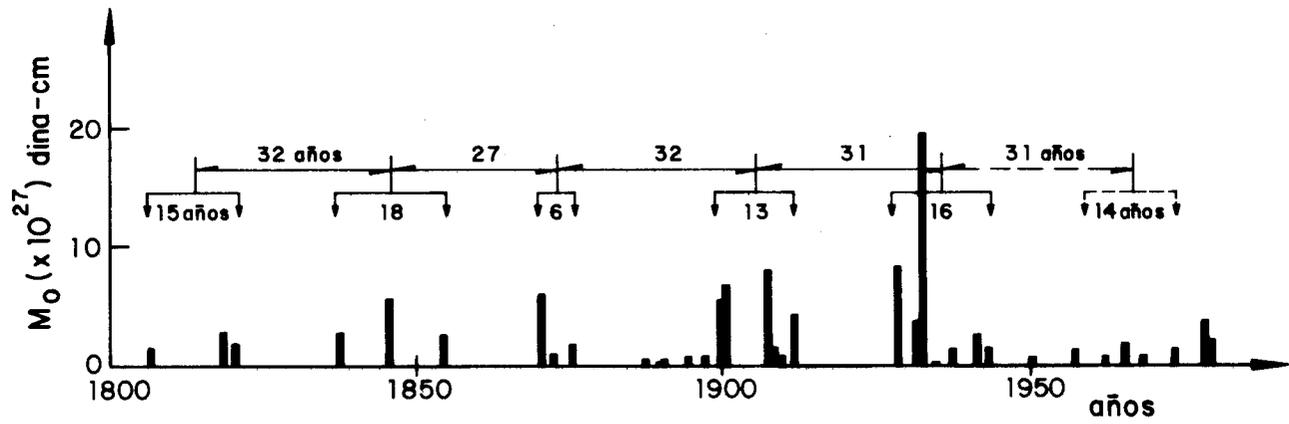
b) Eventos someros entre placas ($h \leq 60$ km)

Fig 6