

GEOFISICA INTERNACIONAL

REVISTA DE LA UNION GEOFISICA MEXICANA, AUSPICIADA POR EL INSTITUTO DE
GEOFISICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Vol. 28

México, D. F., 1o. de octubre de 1989

Núm. 4

ZONAS SISMICAS DE OAXACA, MEXICO: SISMOS MAXIMOS Y TIEMPOS DE RECURRENCIA PARA EL PERIODO 1542 - 1988

F. NUÑEZ-CORNU*†

L. PONCE*

(Recibido: 14 de agosto, 1987)

(Aceptado: 2 de enero, 1989)

Contribución del IGF #A-7

RESUMEN

Se revisa la literatura sobre la sismicidad ($I_{MM} \geq VI$ en Oaxaca y/o daños en otra localidad de Oaxaca) ocurrida en el estado de Oaxaca durante el período 1542-1988. La información macrosísmica se utiliza para agrupar los temblores en familias de eventos semejantes. Basándose en el conocimiento actual sobre los procesos sismotectónicos en la región, se sugiere la definición de 8 zonas sismogénicas. En un catálogo se presentan los datos, indicando las fuentes y nuestra interpretación. Los 68 eventos mayores ($m_b \geq 6.5$, $M_s \geq 7.0$) son asignados a cada una de las zonas sísmicas; para éstas se analizan los tiempos de recurrencia y se seleccionan los sismos máximos esperados. Los resultados principales son:

- En la zona de subducción pueden ocurrir terremotos de gran magnitud ($M_s \approx 8.5$), como el de marzo de 1787.

- En la zona de subducción, en el período 1928-1988, han ocurrido once sismos ($M_s \geq 7.0$), cuatro en la mitad este y siete en la oeste. En los 56 años previos a 1928 se presentó un período de calma sísmica ($M_s \geq 7.0$); en la región de ocurrencia del gran terremoto de 1787 sólo vuelve a temblar ($M_s \geq 7.0$) en 1928, después de 141 años de calma sísmica.

* Instituto de Geofísica, UNAM, Ciudad Universitaria, 04510, México, D. F., MEXICO.

† Cátedra de Geofísica, Fac. de Ciencias Físicas, Univ. Complutense de Madrid, 28040, Madrid, ESPAÑA.

- En 1928, en un lapso de 8 meses, ocurren cuatro eventos de subducción ($M_s \geq 7.4$); en el mismo período ocurren dos temblores intraplaca importantes ($m_b = 7.7$) en la parte norte. En enero de 1931 ocurre otro intraplaca ($M_s = 8.0$) en la parte sur. Este patrón de liberación de energía sísmica en un corto período de tiempo refuerza la afirmación de que en Oaxaca deben esperarse terremotos de gran magnitud por ruptura simultánea de varias unidades sismogénicas.

- Las zonas "Huajuapán" y "Mixe" son afectadas por eventos de profundidad intermedia y falla normal ($60 \leq H \leq 120$ km, $m_b \approx 7.0 - 7.7$) con tiempos de recurrencia bastante regulares (95 ± 11 años y 80 ± 16 años, respectivamente).

- En la zona "Valle" ocurren sismos someros de falla normal ($25 \leq H \leq 50$, $M_s \approx 8.0$) en períodos de tiempo también muy regulares (82 ± 16 años). Posiblemente en la zona "Mixteca Media", al oeste de la anterior, también ocurren eventos de este tipo; en este caso, la zona "Mixteca Media" presentaría un potencial sísmico muy alto (156 ± 22 años, último temblor en 1854).

- Para la zona "Istmo" se concluye que, en general, su actividad sísmica de profundidad intermedia es de magnitud moderada ($m_b \leq 6.5$). De especial interés es el evento de diciembre 29, 1917 ($M_s = 7.1$); nuestra relocalización indica que su epicentro está situado en el Golfo de Tehuantepec, en una brecha sísmica cuyo potencial sísmico es difícil de evaluar.

- El análisis de la actividad sísmica ($m_b \geq 6.5$, $M_s \geq 7.0$) ocurrida en los últimos 480 años sugiere que estudios basados en los catálogos de los últimos 150 años pueden conducir a conclusiones erróneas sobre la sismotectónica de la región, subestimar los sismos máximos y definir períodos de recurrencia con escasa información.

ABSTRACT

References on historical and recent earthquakes in Oaxaca City, or that have caused damage in other localities of the Oaxaca state from 1542 until 1988, are reviewed. Macroseismic data are used to define sets of similar earthquakes. On the basis of present knowledge about seismotectonics of the region, we suggest the definition of eight seismogenic zones. Data references and our interpretation are given in a catalogue. The 68 larger events ($m_b \geq 6.5$, $M_s \geq 7.0$) are assigned to each one of the eight seismographic zones. Main results are:

- The occurrence of great earthquakes ($M_s \approx 8.5$) at the subduction zone, similar to that on March 29, 1787, is probable.

- During the period 1928-1988 eleven earthquakes ($M_s \geq 7.0$) occurred at the subduction zone, four of them in the eastern flank and seven in the western flank. The period of activity was preceded by 56 years of quiescence ($M_s \geq 7.0$). The focal region of the 1787 earthquake was followed by a seismic gap ($M_s \geq 7.0$) of 141 years, until 1928.

- From February to October 1928, four subduction earthquakes ($M_s \geq 7.4$) occurred, as well as two intraplate intermediate depth earthquakes ($m_b = 7.7$) with epicenters at the north of the state. In January 1931 a shallow intraplate earthquake ($M_s = 8.0$) shook the southern part of the state. This pattern of seismic energy released in a short period of time supports the fact that great earthquakes in Oaxaca are due to simultaneous rupture of more than one or two seismogenic units.

- The "Huajuapán" and "Mixe" zones are affected by intermediate depth earthquakes with normal fault mechanism ($60 \leq H \leq 120$ km, $m_b \approx 7.0 - 7.7$); their recurrence times appear very regular (95 ± 11 yr, and 80 ± 16 yr, respectively).

- At the "Valle" zone both shallow and normal fault earthquakes ($M_s \approx 8.0$) occurred; their recurrence time is also very regular (82 ± 16 yr). At the "Mixteca Media" zone, located to the west of the "Valle" zone, earth-

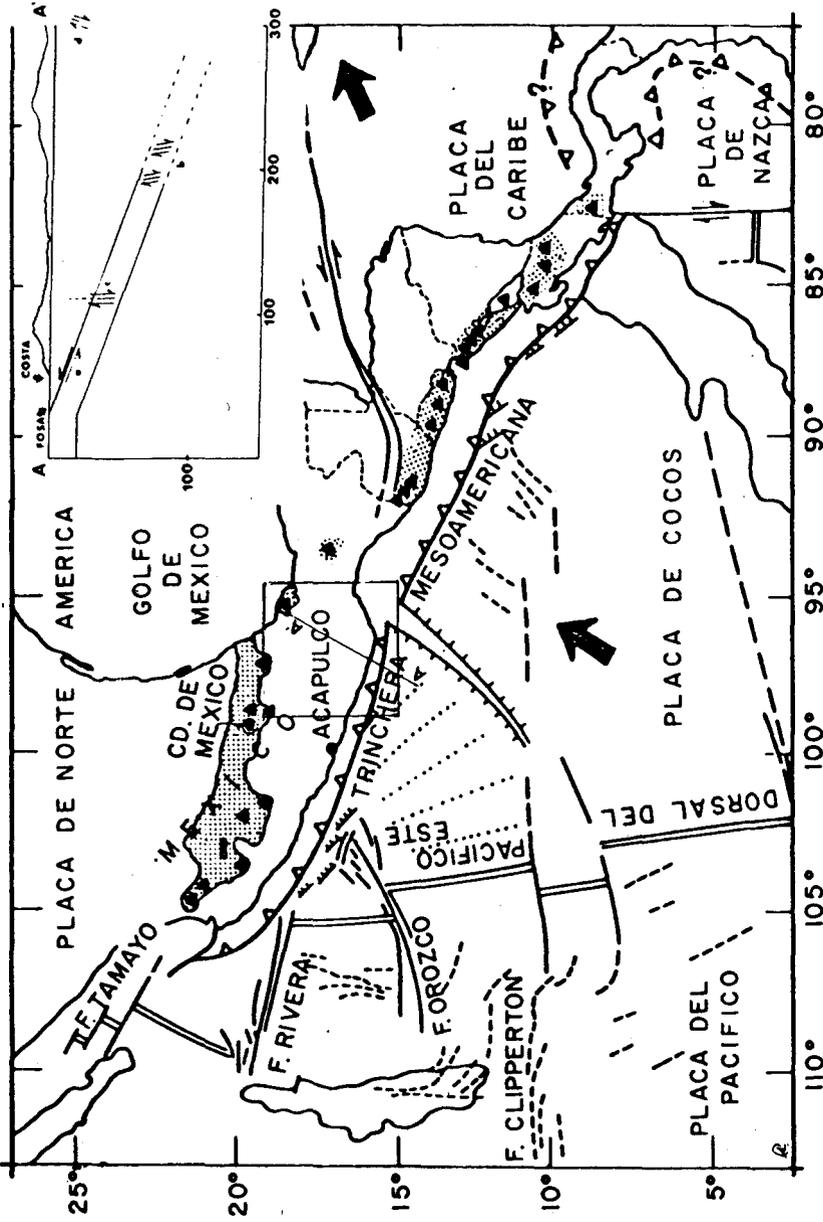


Fig. 1. Rasgos tectónicos globales que definen la sismicidad en el sur de México y América Central. La región de Oaxaca se delimita en el cuadro central de la figura. La placa de Cocos, al sur del estado de Oaxaca, trae consigo un rasgo tectónico denominado "Cresta de Tehuantepec" que subduce por debajo del Istmo de Tehuantepec. Hay que destacar que la región de Tehuantepec es reconocida como brecha sísmica (Singh *et al.*, 1981, Nishenko y Singh, 1987b). La velocidad relativa de las placas de Norteamérica y Cocos frente a la región en estudio es del orden de 7 cm/año (Minster y Jordan, 1978). En el recuadro superior derecho se muestra un corte esquemático en la dirección A-A' en la zona en estudio, destacando los principales tipos de sismos ($m_b \geq 6.5$, $M_s \geq 7.0$): a) de subducción, someros de falla inversa; b) de intraplaca, profundidad intermedia y falla normal; c) de falla normal y someros; d) intraplaca, falla inversa y someros.

quakes of the same nature probably also occur. If our hypothesis is correct, then the "Mixteca Media" would present today the highest seismic potential (recurrence time 156 ± 22 yr, last earthquake, 1854).

- At the "Istmo" zone, the intermediate depth seismic activity reaches moderate magnitudes ($m_b \leq 6.5$). The December 29, 1917 ($M_s = 7.1$) shallow earthquake presents a particular interest. Our relocation put its epicenter in the Gulf of Tehuantepec, at a seismic gap whose seismic potential is difficult to evaluate.

- The analysis of seismic activity ($m_b \geq 6.5$, $M_s \geq 7.0$) reported for the last 480 years, suggests that studies based in catalogues of the last 150 years may lead to erroneous conclusions on seismotectonics of the region, underestimates of the maximum earthquakes, and to defining of recurrence periods with insufficient information.

INTRODUCCION

La región de Oaxaca, comprendida entre los 15.00° y los 18.50° de Latitud Norte y los 94.50° y 98.75° de Longitud Oeste, es una de las regiones con más alta sismicidad en México (figura 1). Esta actividad está asociada al proceso de subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa de Norteamérica; sin embargo, es una región anómala dentro de los modelos propuestos para este tipo de bordes tectónicos, ya que se le considera un margen continental truncado que no refleja el grado de evolución asociado a un proceso continuo de convergencia entre dos placas. Algunos de los argumentos utilizados para esta afirmación son: no existen los cinturones paralelos asociados a los procesos de subducción, al menos desde el Mesozoico; las rocas básicas se encuentran en terrenos ígneo-metamórficos con tendencias estructurales que frecuentemente intersectan el arco actual a grandes ángulos; el Eje Volcánico Mexicano, arco volcánico asociado a la Trinchera de Acapulco, no es paralelo a la Trinchera ni a los contornos isoprofundos de la zona sísmica (Karig *et al.*, 1978; Ortega-Gutiérrez, 1981, 1988; Bellon *et al.*, 1982; McMillen *et al.*, 1982; Nixon, 1982; Bevis e Isacks, 1984; Burbach *et al.*, 1984; Shubert y Cebull, 1984).

Geológicamente, el sur de México es una región extremadamente compleja; Ortega-Gutiérrez (1988) propone la división de la región en seis terrenos cristalinos diferentes con base en su contrastada evolución metamórfica, en su protólisis y edad completamente diferentes (figura 2). Considera que cuatro de estos terrenos son continentales (Chatino, Zapoteco, Mixteco y Maya) y dos oceánicos (Cocos y Cuicateco).

A partir de las cartas epicentrales obtenidas en las campañas de observaciones de microtemblores llevadas a cabo en los últimos años en Oaxaca (Ponce *et al.*, 1979a, b; Singh *et al.*, 1980; Núñez-Cornú, 1980; Yamamoto *et al.*, 1984; Jiménez *et al.*, 1983; Nava, 1984), se observan alineamientos de la sismicidad de baja magnitud que sugieren coincidencias con contactos de unidades tectónicas o fracturamientos de la cor-

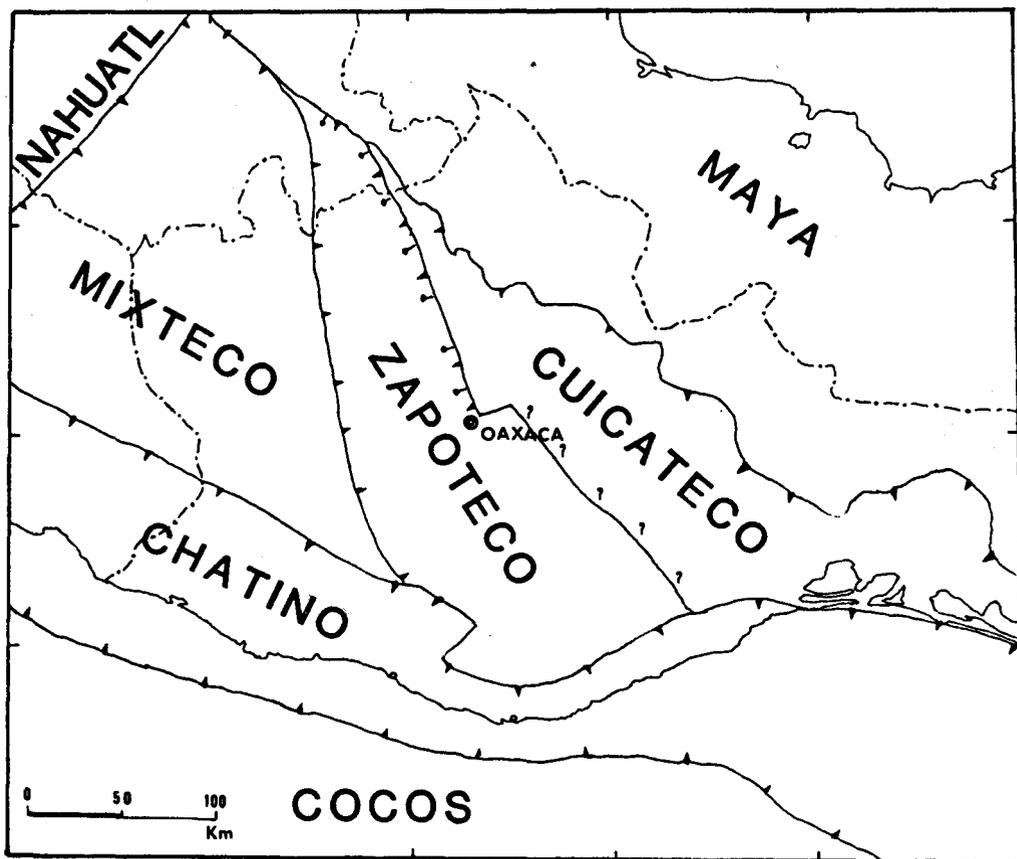


Fig. 2. Terrenos cristalinos de Oaxaca (Ortega-Gutiérrez, 1988).

teza propuestas por otros autores (Sumín de Portilla *et al.*, 1979, Ortega-Gutiérrez, 1981); esto fue particularmente observado para el terremoto de 1978 ocurrido en la costa de Oaxaca.

Teniendo en cuenta sus características y peligrosidad, en la región de Oaxaca se pueden distinguir tres tipos principales de temblores de importante magnitud ($m_b \geq 6.5$, $M_s \geq 7.0$):

- a) De subducción, asociados directamente al contacto entre las dos placas, con un mecanismo focal de falla inversa de bajo ángulo, con epicentros en la costa y una profundidad entre 15 y 20 km (Chael y Stewart, 1982; Astiz y Kanamori, 1984).

b) De falla normal y una profundidad de 65 a 115 km, que tienen lugar en la placa subducente con epicentros en el interior del continente, al norte de la ciudad de Oaxaca, que se encuentra a una latitud de 17°N (Jiménez, 1977; Jiménez y Ponce, 1979).

c) De falla normal y una profundidad aproximada de 25 a 40 km, con epicentros al sur de la ciudad de Oaxaca; de este tipo de eventos, sólo uno ha sido estudiado, el temblor del 15 de enero de 1931, con magnitud igual a 8.0 (Núñez-Cornú, 1983; Singh *et al.*, 1985).

En los últimos años, la sismicidad de la costa sur de México ha atraído la atención de muchos investigadores, en especial la región de Oaxaca, acerca de la cual se han publicado diversos trabajos sobre sismicidad. Sin embargo, hasta ahora no se han revisado los trabajos sobre sismicidad histórica utilizados como referencia, ni se ha analizado dicha sismicidad en relación con resultados más recientes para eventos mayores ocurridos en la región.

El propósito de este trabajo es hacer una revisión de los trabajos que se han realizado sobre la sismicidad de Oaxaca, complementándola con información recabada en las bibliotecas de las ciudades de México y Oaxaca, así como en el archivo del Servicio Sismológico Nacional (SSN). Esta información es comparada con la obtenida a partir del estudio de la sismicidad reciente que ha sido bien analizada. De esta manera se obtiene un catálogo revisado y actualizado que identifica, en lo posible, sismos semejantes y discrimina entre familias diferentes. Esta estimación de sismos semejantes mayores, cuyas magnitudes estimadas o calculadas sean $m_b \geq 6.5$ o $M_s \geq 7.0$, conduce a una proposición de regionalización sísmica de Oaxaca y a una estimación de los períodos de recurrencia para las distintas unidades propuestas.

ANTECEDENTES

El trabajo más conocido sobre la sismicidad histórica en México es el realizado por Orozco y Berra (1887-1888), quien recopiló la sismicidad en México desde 1523 hasta 1887. La mayor parte de este trabajo, en especial lo referente a la región de Oaxaca, está basada en escritos inéditos de Manuel Martínez Gracida (1886). Existe también un catálogo publicado en el boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística (1860). Recientemente, Rojas *et al.* (1987) recopilaron información adicional para los sismos históricos.

Lomnitz (1974) propone un catálogo de la sismicidad en la región de México-Guatemala para el período 1538 - 1973. Figueroa (1975) hace una recopilación de la sismicidad en Oaxaca hasta 1974; este catálogo incluye isosistas para los siguientes temblores: 1870 (mayo 11), 1897 (junio 5), 1911 (febrero 3), 1911 (agosto 27), 1928 (febrero 9), 1928 (marzo 21), 1928 (abril 16), 1928 (junio 17), 1928 (agosto 4), 1959 (mayo 24), 1965 (agosto 23), 1968 (agosto 2). Sin embargo, algunas de estas isosistas (1928: abril 16, junio 17, agosto 4) presentan incongruencias al comparar los reportes de daños en algunas localidades con la intensidad estimada por Figueroa; algunos de estos errores fueron detectados al hacer un estudio en detalle de la serie de 7 terremotos con magnitud mayor de 7.0, ocurridos entre 1928 y 1931 (Núñez-Cornú, 1983). Singh *et al.* (1981, 1984) publican un catálogo para los temblores costeros asociados a la subducción en México a partir de 1806. McNally y Minster (1981) presentan un catálogo y tiempos de recurrencia para América Central, incluida la región de Oaxaca, a partir de 1542; estos últimos autores sólo listan el año e intensidad máxima para cada sismo, sin aportar mayores datos para los eventos anteriores a 1898. Los trabajos citados están basados esencialmente en el catálogo de Figueroa (1975), el que para la sismicidad anterior a 1887 se fundamenta en el trabajo de Orozco y Berra (1887-1888).

DATOS Y METODOLOGIA

Se elaboró un catálogo de temblores sentidos en la ciudad de Oaxaca, entre 1507 y 1988, con una intensidad en la escala de Mercalli Modificada (I_{MM}) mayor o igual a VI y/o que han causado daños de consideración en alguna zona de la región, aunque el epicentro se encontrase en algunas ocasiones fuera del estado de Oaxaca (ver apéndice). Para esto se realizó una revisión cuidadosa del trabajo de Orozco y Berra (1887-1888), los manuscritos de Martínez Gracida (1886), la Historia de Oaxaca de José Antonio Gay (1881), Los Tres Siglos de México, de A. Cavo (1852), "Y volvió a Temblar", Cronología de los Sismos en México (De 1 Pedernal a 1821), de Rojas *et al.* (1987) y publicaciones sobre el tema, de finales del siglo XIX y principios del siglo XX, tales como: Memorias de la Sociedad Científica "Antonio Alzate"; Parergones, Boletines y Folletos de divulgación del Instituto Geológico Nacional. En el catálogo se mencionan las regiones o localidades más afectadas. Esto permitió evaluar, en la mayoría de los casos, la zona mesosísmica, a la que definimos como la zona más afectada por el temblor ($I_{MM} \geq VI$). En la mayoría de los casos estudiados se dispuso de bastante información macrosísmica para definirla de una manera directa; para eventos mayores ($m_b \geq 6.5$, $M_s \geq 7.0$) la evaluación de la zona mesosísmica es

confiable. Esta información, aunada a los estudios sobre la sismicidad ocurrida en las últimas décadas (Chael y Stewart, 1982; Núñez-Cornú, 1983; Núñez-Cornú y Ponce, 1984; Quintanar, 1985), fue la base para proponer una zonificación sísmica o sismogénica preliminar para la región de Oaxaca. A partir de 1903 se consignan las localizaciones propuestas por diferentes autores para cada temblor.

Hay que mencionar que la ciudad de Oaxaca está situada en el centro del estado (figuras 2 y 3), por lo que es vulnerable en mayor o menor grado a cualquier sismo importante que tenga lugar en la región. Para temblores mayores ($m_b \geq 6.5$; $M_s \geq 7.0$) es posible diferenciar, por los efectos en la ciudad de Oaxaca, entre un temblor costero (tipo a) y uno con epicentro en el interior del estado (tipos b o c). Como será discutido más adelante, en algunos casos es ambigua la diferenciación de eventos tipo b o c.

La revisión del manuscrito de Martínez Gracida (1886) permitió reconocer un total de 245 temblores reportados por él como "sentidos" en el estado de Oaxaca durante el período de 1501 a 1885; de éstos, considera que sólo 34 fueron catastróficos. Es claro que algunos sismos no tuvieron epicentro en el estado de Oaxaca y los daños ocasionados en el estado no fueron graves, mientras que sí lo fueron en otras regiones del país.

Para los eventos comprendidos en el período de 1873 a 1927 se realizó una investigación más detallada con el fin de corroborar o corregir su localización y tener una muestra uniforme y completa para los últimos 116 años. Para este fin se consultaron los periódicos y publicaciones de la época, además de los sismogramas disponibles de la red del SSN. También se realizó lo mismo para el temblor del 5 de mayo de 1854, cuya importancia se discute más adelante. A continuación se resumen las informaciones extractadas de las diferentes publicaciones que se citan en la bibliografía, que en la mayoría de los casos eran similares, ya que habitualmente transcribían el boletín de prensa difundido por el Observatorio de Tacubaya. Los temblores estudiados más detalladamente son:

1854, mayo 5

Estado de Oaxaca: sentido muy fuerte, con una duración de más de medio minuto, primero oscilatorio y después trepidatorio; causó muchos estragos. *Mixteca, Cañada y Valle:* la mayor parte de los templos sufrieron graves daños, cayendo al

suelo las torres y las bóvedas de algunos, entre otros, los de *Amatenango, Tlaxiaco* y *Juxtlahuaca*; en estas localidades se reporta un fuerte ruido subterráneo al inicio del temblor. En *Jamiltepec, Oaxaca*: destrucción del templo, derrumbes y hundimientos en cerros y montes, daños en los pueblos de *Huaxolotitlan, Pinotepa* y *Juquila*. *Ciudad de México*: sentido trepidatorio y oscilatorio, sonaron las campanas, daños ligeros. *Córdoba, Veracruz*: sentido fuerte, con daños en la parroquia y en algunas casas. *Puebla, Puebla*: sentido trepidatorio y oscilatorio, daños ligeros. *Chilpancingo, Acapulco, Cuernavaca* y *Veracruz*: sentido ligero (figura 4).

1882, julio 19

Valle de México: sentido fuerte, trepidatorio y luego oscilatorio, "duró" un minuto. *Chila, Puebla*: el templo quedó muy destruído, las casas municipales y particulares quedaron inhabitables. *Tehuacán, Puebla*: sentido trepidatorio y oscilatorio, precedido por fuertes ruidos subterráneos. *Petlalcingo, Puebla*: daños en los templos, ligeros en las casas. *Acatlán, Puebla*: daños en el templo y ligeros en las casas. *Orizaba* y *Córdoba, Veracruz*: sentido trepidatorio y oscilatorio. *Oaxaca, Oaxaca*: sentido trepidatorio y oscilatorio, acompañado de fuerte ruido subterráneo. *Huajuapán de León, Oaxaca*: todos los edificios con azotea, destruídos; iglesia, palacio municipal y juzgados, inhabitables.

Los efectos de este temblor son similares a los del temblor del 29 de octubre de 1980 (Mota *et al.*, 1981; Yamamoto *et al.*, 1984; Sánchez, 1983). Los patrones de destrucción en Huajuapán de León y pueblos cercanos parecen ser los mismos. Esto sugiere que el epicentro del terremoto de 1882 es prácticamente el mismo que el de 1980 (figura 5).

1894, noviembre 2

Se conoce también como el Temblor del Día de Muertos. De los reportes de daños publicados en los periódicos de la época se deduce que el temblor no fue costero como proponen varios autores (Singh *et al.*, 1981; Astiz y Kanamori, 1984), sino que ocurrió en el interior del continente. *Ciudad de México*: sentido muy fuerte; se reportan roturas de cañerías. El sismógrafo de Palmieri reporta mayor intensidad en las componentes NS y la vertical, el sismógrafo de Bala se "botó". Está reportado como el temblor más fuerte registrado desde 1877, fecha en que se fundó el observatorio de Tacubaya, ya que nunca se había salido el índice de la

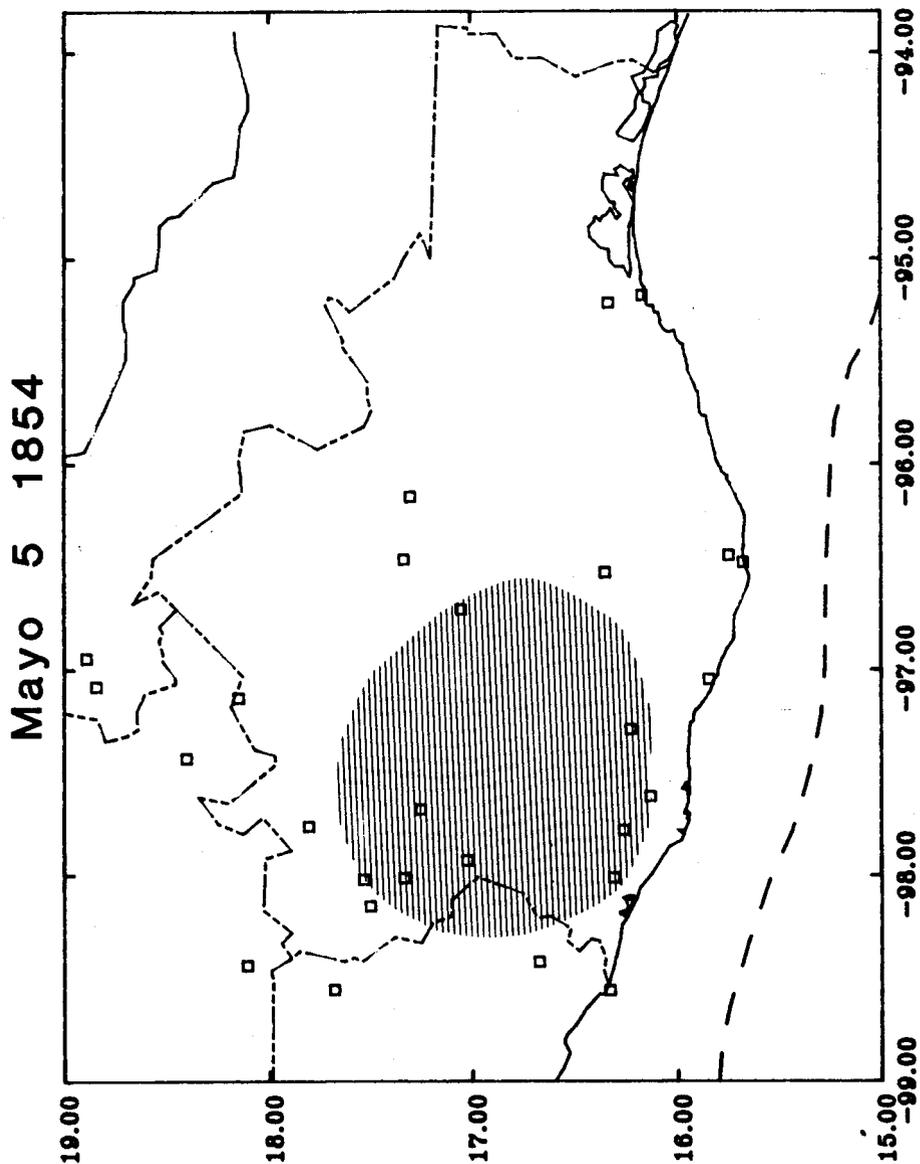


Fig. 4. Area mesosísmica para el terremoto del 5 de mayo de 1854. No hay reportes sobre observaciones de maremotos o marejadas (lída *et al.*, 1967; Rascón y Villarreal, 1975).

placa de registro. *Ciudad de Oaxaca*: oscilatorio durante quince segundos. En *Orizaba, Veracruz*: trepidatorio durante 46 segundos. *Córdoba, Tehuacán, Tlaxiaco, Chilapa y Ayutla*: sentido con fuerza y daños. La zona más afectada fue la de las *Mixtecas*, en especial las zonas de *Silacayoapan* e *Ixpantepec*. El estudio de estas informaciones macrosísmicas indica que la zona epicentral está ubicada en las cercanías de *Silacayoapan* e *Ixpantepec*. El epicentro estimado por Núñez-Cornú (1983) es 17.50°N , 98.10°W (Figura 6).

1897, junio 5

Este temblor pasó inadvertido en la *Ciudad de México*. En el Observatorio Meteorológico de Tacubaya el péndulo de "Bala" apenas trazó una ligera huella; sin embargo, en la región afectada, los daños fueron muy fuertes. A continuación se transcriben dos telegramas tomados de los periódicos de la época, que son bastante explícitos: "... Informe Oficial sobre los Temblores en Tehuantepec. *Tehuantepec*, 7:22 pm. Temblor trepidatorio, duró aproximadamente un minuto, la mayor parte de las casas en completa ruina, así mismo todos los edificios públicos. Pérdidas de importancia en *Comitancillo* y *San Blas, Palomares y Los Cocos*. Junio 8, 1897. El Jefe Político: Juan Torres . . ."; "... Tehuantepec, 7 Junio 1897. Sr. Senador Don Mariano Bárcena. México. Desde el 5 a las 7 y 22 p.m. movimientos sísmicos frecuentes; duración variable entre 3 y 5 minutos. El primero muy fuerte, duró un minuto, causando grandes perjuicios en muchos edificios. Datos: por el Istmo hasta *San Jerónimo* igual fuerza, *Coatzacoalcos* leve; *Chiapas* hasta *San Cristóbal*, leve; *Oaxaca*, hasta *Tequisistlán*, leve; *Puebla*, leve. Por *Acapulco* hasta *Huamelitla* muy fuerte, *Pochutla*, leve. Desde las 4 de la tarde de hoy repite con más fuerza y frecuencia; igualmente en *Juchitán* . . .". Reportan fuertes ruidos subterráneos previos al temblor y durante el período de réplicas, de las cuales existen numerosos reportes. *Tehuantepec* en ruinas, el telégrafo se instaló en el kiosco, la Catedral y el Palacio Episcopal con graves averías. Las iglesias de *Cerritos, Lieza y Mixquetilla* derrumbadas. *Juchitán* en iguales condiciones que *Tehuantepec*; de *Salina Cruz* se reportan daños ligeros en el faro. Definitivamente este temblor es muy diferente de los de 1928 (marzo 22) y 1965 (agosto 23). La distribución de daños e intensidades sugiere un foco poco profundo con epicentro situado en las cercanías de *Tehuantepec* y *Juchitán*. Otra característica relevante es la cantidad e intensidad de las réplicas. Este evento pudiera ser similar, aunque de mayor magnitud, al que ocurrió el 24 de enero de 1983 a las 08h 17m 38s (Lat = 15.87°N , Long = 95.40°W , H = 50, Ms = 6.7), para el cual el SSN reporta 63 réplicas en la primera semana.

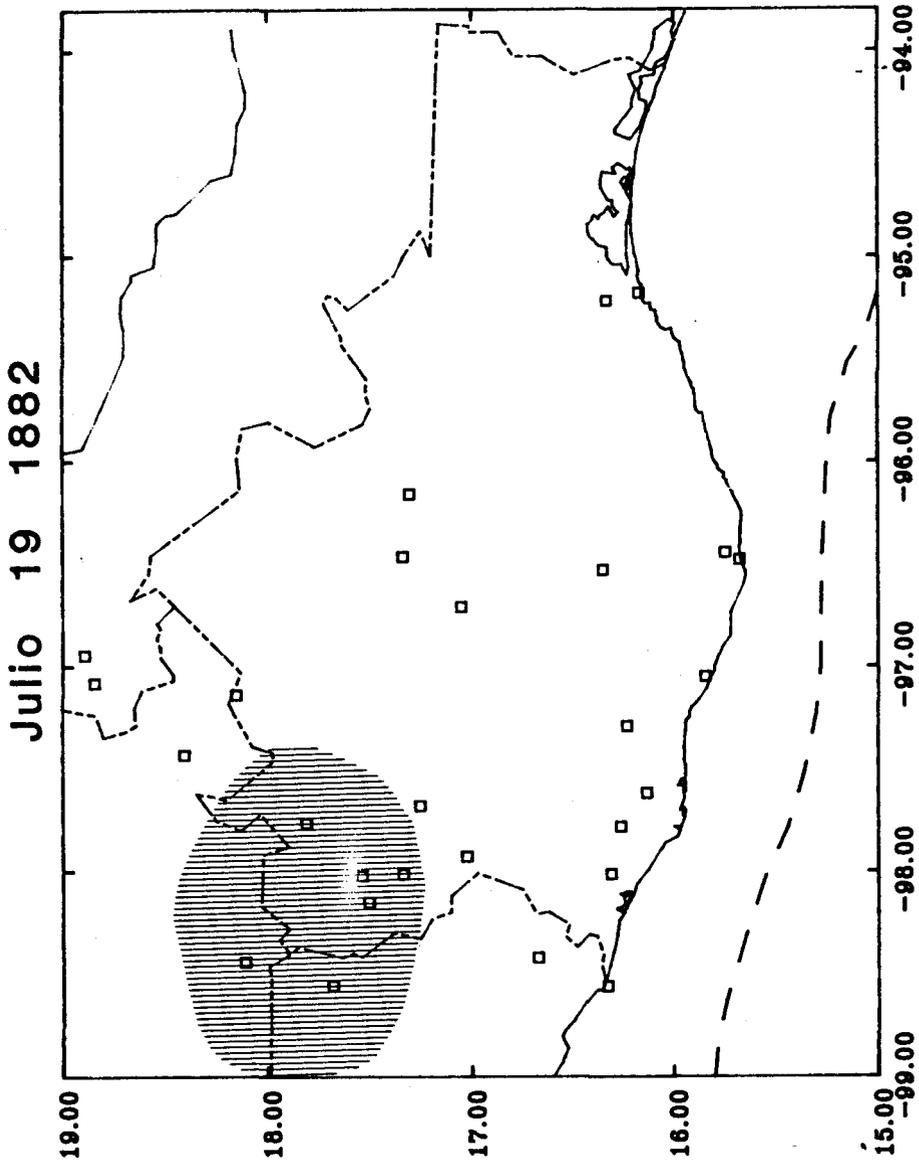


Fig. 5. Area mesosísmica para el terremoto del 17 de julio de 1882.

1903, enero 14

Este temblor casi no se sintió en *Oaxaca*, pero en *Tabasco* y *Chiapas* sí y con cierta intensidad. Existen reportes para diversas localidades. *Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*: se reportó fuerte ruido subterráneo, sentido trepidatorio y daños. *Teapa, Tabasco*: trepidatorio y daños. *Tapachula, Chiapas*: se reporta haber sentido las réplicas y se le asocia con actividad del volcán Tacaná. *Pochutla, Oaxaca*: sentido oscilatorio, fuerte y sin daños. A partir de los datos macrosísmicos se estima que el epicentro se encuentra en la *Costa de Chiapas*. Definitivamente se encuentra fuera de la región de interés (Núñez-Cornú, 1983; Nishenko y Singh, 1987a).

1911, febrero 3

Existe confusión sobre la localización y magnitud de este sismo; Figueroa (1975) publica una isosista para este temblor y consigna dos localizaciones diferentes para el mismo ($17^{\circ}51'$, $97^{\circ}38'$ y 18.20° , 96.20°). Los periódicos de la época apenas lo mencionan como sentido ligeramente en la ciudad de *México* junto con otros dos más pequeños. Los sismogramas de este día se encuentran extraviados, excepto el registro del instrumento Omori, el cual sugiere que no es un evento muy grande; esto mismo es confirmado por el Reporte de Macrosismos (Parergones del Instituto Geológico). Basándose en este reporte se estima que el área epicentral está situada al NE del estado de *Guerrero*. En lo que respecta a su magnitud, el boletín del SSN reporta que en Tacubaya (TAC) el Sismógrafo Wiechert de 17 toneladas solo "bota" el estilete de la componente EW, mientras que la NS registra el temblor durante 8 min. 35 seg. Por otra parte, el temblor del 27 de agosto del mismo año, cuyo epicentro está más lejos y reportado con magnitud igual a 6.70 (Figueroa, 1975) "bota" ambas componentes. En la ciudad de *Oaxaca* (OAX) el evento del 3 de febrero es registrado por todas las componentes y durante 9 min. en las horizontales. Para el evento del 27 de agosto se "botan" ambos sismógrafos (vertical y horizontal). Estos datos permiten afirmar que la magnitud del sismo del 3 de febrero de 1911 es menor de la reportada con anterioridad y, probablemente, tuvo su epicentro al oeste de la región de este estudio.

1917, diciembre 29

Este temblor sólo es mencionado por los periódicos como sentido ligeramente por algunas personas en la ciudad de *México*, sin existir reportes de daños en la misma; tampoco existen reportes del estado de *Oaxaca* o algún otro lugar del país.

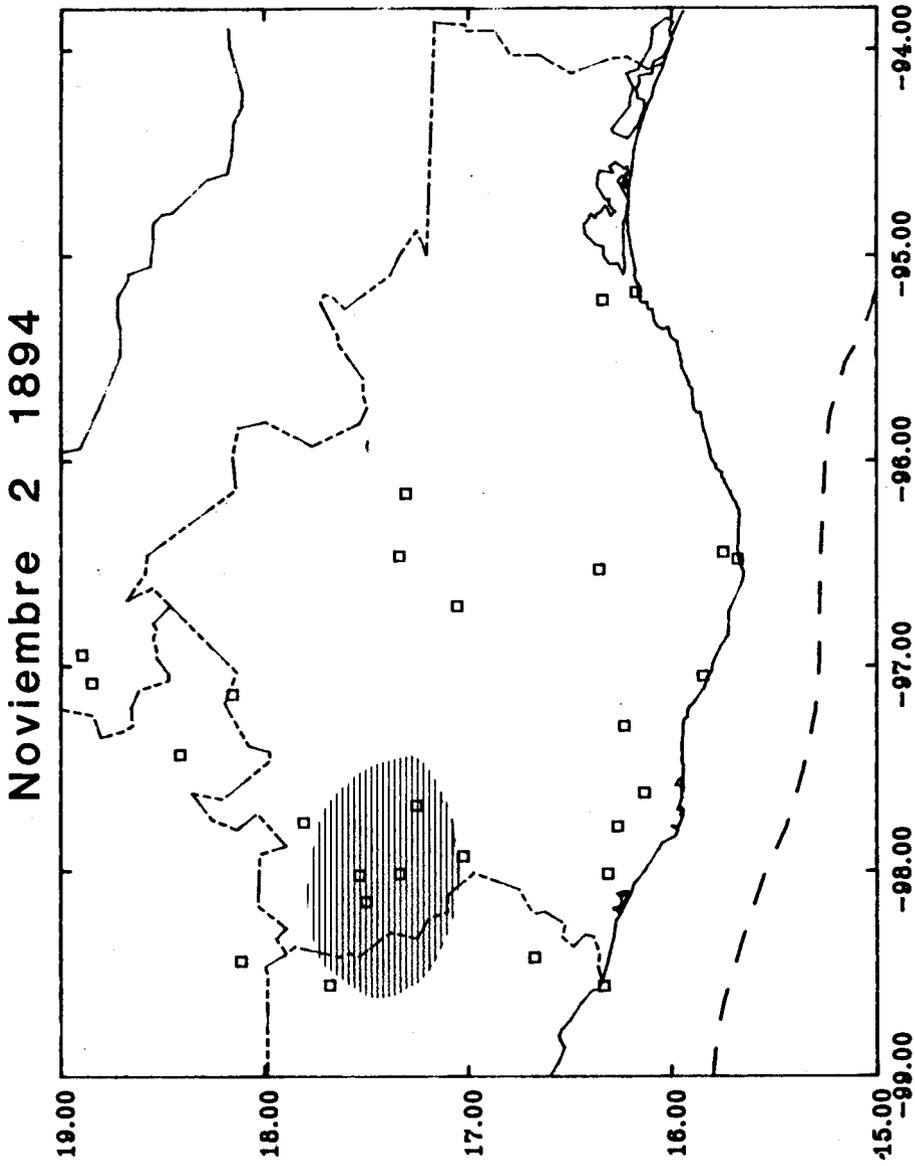


Fig. 6. Area mesosísmica para el terremoto del 2 de noviembre de 1894.

De hecho, se presta mucha más atención al terremoto sucedido el mismo día en *Guatemala* para el cual, inclusive, se organizan comités de ayuda. El análisis de los sismogramas de TAC (únicos disponibles), muestran que el epicentro está ubicado aproximadamente en una dirección S 45°E con respecto a esta estación y a una distancia aproximada de 610 km, lo cual lo sitúa en el Golfo de Tehuantepec, en la extensión de la *Cresta de Tehuantepec*. Es de interés que para la serie de temblores 1928-1931 y otros más recientes sucedidos en la costa de Oaxaca, la polaridad de la onda "P" en TAC es una compresión, en este caso se registra una clara dilatación (Núñez-Cornú, 1983). Singh *et al.* (1984) asignan a este evento $M_s = 7.1$.

El análisis de los datos de intensidades ha permitido observar que los daños provocados por los diferentes temblores generalmente están afocados en ciertas direcciones preferenciales, afectando mayormente a localidades en zonas específicas y provocando pocos daños en otras localidades, aunque se encuentran a menor distancia epicentral. Esto pudiera ser causado por una radiación preferencial de la energía sísmica generada por la zona de falla, un control estructural sobre la propagación de las ondas sísmicas en la región, o efectos locales en los suelos de las diversas localidades. La existencia de estos controles espaciales, sobre todo en la costa, ha sido observada por varios autores: Barrera (1931), Ponce *et al.* (1979b), Yamamoto *et al.* (1984). Uno de los casos más claros de la existencia del afocamiento de los daños, son los terremotos de 1931 (15 de enero), de 1928 (17 de junio) y 1978 (29 de noviembre); éstos dos últimos, de subducción, con un mecanismo focal de falla inversa (tipo a), y el primero con un mecanismo de falla normal (tipo c). Aunque el epicentro del de 1931 se encuentra a sólo 44 km del de 1978 y a 80 km del de 1928, sus patrones de daños son muy diferentes (Muñoz Lumbier, 1928; Barrera, 1931; Ponce *et al.*, 1979b; Núñez-Cornú, 1983). Estos patrones de daños permiten, en la mayoría de los casos, diferenciar con cierta facilidad un terremoto ocurrido en la costa, de uno con epicentro en el interior, así como también entre dos de un mismo tipo.

ZONIFICACION

El estado de Oaxaca se ha dividido en ocho zonas (figura 7):

- 1) Zona Mixteca Media
- 2) Zona Huajuapán
- 3) Zona Norte y Cañada
- 4) Zona Istmo

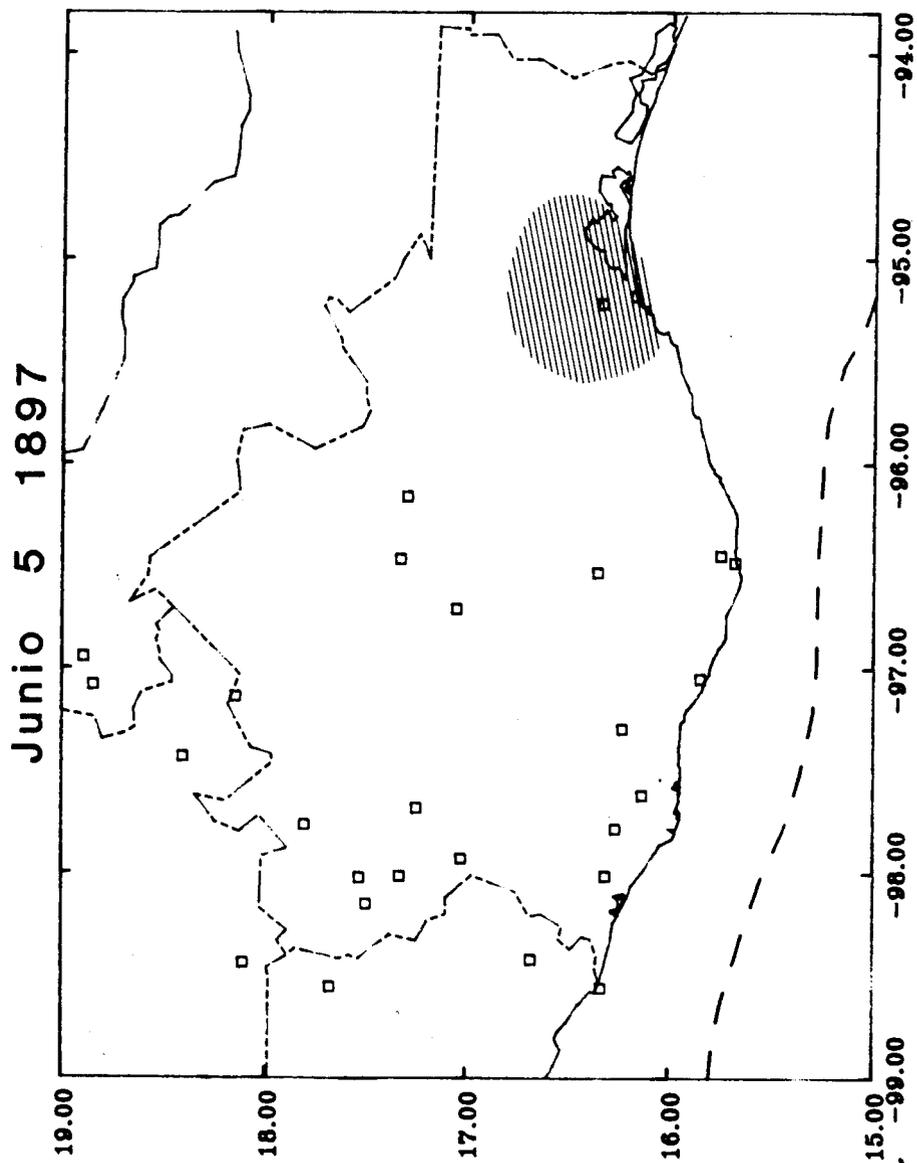


Fig. 7. Area mesosísmica para el terremoto del 5 de junio de 1897.

- 5) Zona Mixe
- 6) Zona Valle
- 7) Zona Puerto Escondido-Huatulco
- 8) Zona Pinotepa Nacional-Jamiltepec

las que definiremos como zonas sísmicas o unidades sismogénicas mayores.

Esta zonificación se ha realizado con base en los siguientes antecedentes:

- a) Al estudio detallado de las áreas de réplicas y a la relocalización de los grandes sismos costeros ($M_s \geq 7.0$) ocurridos de 1928 a la fecha (Singh *et al.*, 1980; Núñez-Cornú, 1983; Nava, 1984; Quintanar, 1985; Núñez-Cornú y Ponce, 1984).
- b) Al estudio y la relocalización de los grandes eventos de profundidad intermedia ($m_b > 6.5$) ocurridos al norte del estado de Oaxaca en el período 1928 a la fecha (Jiménez, 1977; Jiménez y Ponce, 1979; Núñez-Cornú, 1983; Yamamoto *et al.*, 1984; Nava *et al.*, 1985), así como la relocalización de los eventos del período 1873 a 1927.
- c) A la revisión y redefinición de las curvas isosistas (Figuroa, 1975; Núñez-Cornú, 1983; Núñez-Cornú y Ponce, 1984) para el período 1882-1974, así como la correlación entre éstas y las áreas de ruptura definidas por las réplicas.
- d) A la definición de unidades geológicas (terrenos cristalinos) que conforman la compleja estructura cortical del estado de Oaxaca (Ortega-Gutiérrez, 1988) y a estudios morfoestructurales realizados en la región (Sumín de Portilla *et al.*, 1979).
- e) A los estudios estadísticos de sismicidad en México hechos por Prozorov y Sabina (1984) al analizar los siguientes parámetros:
 - Magnitud media. El valor para la zona 7 es superior a la media estadística, mientras que para la zona 8 es inferior.
 - Profundidad focal media. Para la zona 7 la profundidad focal es menor que la media estadística, mientras que para la zona 8 es mayor.
 - Propiedad de enjambre. En este caso el valor es superior a la media para la zona

8, e inferior para la zona 7.

f) A los resultados obtenidos por estudios de refracción sísmica (Núñez-Cornú, 1987; Nava *et al.*, 1988) acerca de la estructura profunda de la costa y del interior del estado de Oaxaca. Dichos resultados confirman la separación estructural de las zonas 7 y 8 (costeras) con la zona 6 (interior). Asimismo, han mostrado la existencia de una estructura en la Placa de Cocos, no claramente definida hasta el momento, que separa la zona 7 de la 8.

Utilizando los temblores $M \geq 7.0$ ocurridos en los últimos 116 años (Núñez-Cornú, 1983; Núñez-Cornú y Ponce, 1984), las zonas costeras (7 y 8) se han subdividido en cinco sectores. Sin embargo, para la información histórica aquí analizada, difícilmente se podrían discernir zonas más pequeñas que las aquí propuestas. La asignación de un temblor a una determinada zona conlleva una incertidumbre; ésta se incrementa si la zona disminuye de tamaño.

Los eventos mayores ($m_b \geq 6.5$; $M_s \geq 7.0$) ocurridos desde 1928 a la fecha (Núñez-Cornú, 1983) se han tomado como eventos característicos de las zonas en las cuales se encuentran ubicados. Además, cada uno de los eventos mayores ocurridos entre 1873 y 1927, analizados con detalle en la sección anterior, fue asignado a una de las 8 zonas sísmicas aquí definidas. Para los eventos anteriores a 1873 se evaluó lo siguiente: 1) la distribución de intensidades en el área mesosísmica; 2) las características de cómo fue sentido en diversas localidades - principalmente en la ciudad de Oaxaca; 3) la cantidad de réplicas sentidas; 4) otros parámetros cualitativos de las descripciones históricas. Finalmente se seleccionó la zona sísmica a la que se asigna el evento.

A continuación se describen las características más relevantes que definen a cada una de las ocho zonas sísmicas de Oaxaca; se presta especial atención a las localidades más afectadas (área mesosísmica) y se citan los eventos característicos de cada zona.

Zona 1, Mixteca Media

Los temblores en esta zona afectan a la frontera de los estados de *Guerrero* y *Oaxaca* (*Silacayoapan* e *Ixpantepec*), sintiéndose con menor intensidad en la costa y *Huajuapán*, el valle central de *Oaxaca* y las zonas de *Tlapa* y *Chilapa* en *Guerrero*.

En algunos casos presentan intensidades más fuertes al oeste de la zona, por ejemplo el temblor de 1894; en otros al este, por ejemplo, el temblor de 1854. En este siglo han ocurrido dos temblores: 1938 y 1959 ($m_b = 6.8$). Este último tiene un mecanismo de falla normal y una profundidad de 79 km (Jiménez y Ponce, 1979).

Zona 2, Huajuapán

Los temblores de esta zona afectan primordialmente el sur del estado de *Puebla*, el NW del estado de *Oaxaca* y el NE del estado de *Guerrero*. Dentro de esta zona hay dos temblores que han sido estudiados: 1980 (Yamamoto *et al.*, 1984) y 1882 (Núñez-Cornú, 1983; Sánchez, 1983). Esta zona se caracteriza porque en relación con el epicentro la intensidad es más fuerte en la dirección sur que en la dirección norte. El temblor de 1980 ($m_b = 7.0$) tiene un mecanismo de falla normal y una profundidad de 65 km (Yamamoto *et al.*, 1984).

Zona 3, Norte y Cañada

Esta zona se caracteriza porque los sismos, en relación con su epicentro, son más intensos hacia el norte que hacia el sur, afectando principalmente las ciudades de *Tehuacán*, *Orizaba*, *Córdoba*, *Veracruz* y *Puebla*. Al igual que en la zona 1, algunos temblores se sienten más intensos en el este y otros en el oeste. En esta zona han sido estudiados los temblores de 1928 ($m_b = 7.6$), 1937 ($m_b = 7.6$), 1945 y 1973 ($m_b = 7.1$) (Jiménez y Ponce, 1979; Singh y Wyss, 1976) todos ellos tienen un mecanismo de falla normal y profundidades entre 82 y 95 km. Esta zona es la más extensa y bordea el Eje Volcánico Mexicano.

Zona 4, Istmo

Se define esta zona como el área comprendida dentro del estado de *Oaxaca*, limitada al este por el *Istmo de Tehuantepec* y al oeste por las zonas 5, 6 y 7. Existen tan sólo cinco eventos reportados en los últimos 200 años, que consideramos alcanzan el nivel de magnitud límite del catálogo. Incluimos el temblor de 1917 ($M_s = 7.1$) con epicentro probable en el Golfo de Tehuantepec, aunque no existe ningún reporte de daños. Para esta zona se han modelado dos eventos de magnitud moderada: Domínguez (1983) y González-Ruiz (1986) estudiaron el temblor del 22 de junio de 1979 ($m_b = 6.3$, $M_s = 6.4$) con hipocentro en 16.80°N , 94.77°W , $H = 110$ km y con mecanismo de falla normal; LeFevre y McNally (1985) y Gon-

zález-Ruiz (1986) proponen un mecanismo de falla normal para el evento ocurrido el 24 de enero de 1983 ($M_s = 6.7$).

Zona 5, Mixe

Los temblores de esta zona causan destrucción importante en la ciudad de *Oaxaca* y el área *Mixe*. El temblor característico de esta zona es el del 17 de abril de 1928 ($m_b = 7.7$), que tiene un mecanismo focal de falla normal y una profundidad de 115 km (Jiménez y Ponce, 1979).

Zona 6, Valle

Los temblores de la zona Valle producen daños en la ciudad de *Oaxaca*, pero mayores en la parte sur del *Valle de Oaxaca* (*Miahuatlán, Sola de Vega*). El temblor del 15 de enero de 1931 ($M_s = 8.0$) es el más reciente; éste presenta un mecanismo focal de falla normal y una profundidad de 25 km (Singh *et al.*, 1985). La localización de algunos de los temblores ubicados en esta zona, dependiendo de los datos disponibles, puede ser ambigua y confundirse con los ocurridos en la zona 5.

Zona 7, Puerto Escondido - Huatulco

En la mayoría de los casos se puede distinguir un temblor interior de uno costero, así como distinguir uno de la zona 7 de uno de la zona 8, ya que los de la zona 7 son sentidos con más intensidad en la ciudad de *Oaxaca* que los de la zona 8. Históricamente, las localidades más afectadas en esta zona son: *Puerto Escondido, Pochutla, Puerto Angel, Huatulco y Loxicha*. En esta zona, los temblores parecen ser mayores que los de la zona 8 y, aparentemente, tienden a suceder por pares (figura 8), lo cual se ve claramente para los eventos dobles ocurridos en 1727 (marzo 3 y marzo 18), en 1870 (mayo 11) y 1872 (marzo 27) y en 1928 (marzo 22 y junio 17). Esto no es tan evidente en el caso del temblor del 5 de octubre de 1801, para el cual fue reportado un fuerte temblor al día siguiente (Martínez-Gracida, 1886) y otro más el día 9 (Rojas *et al.*, 1987), que pudieran ser réplicas del temblor del día 5. Tampoco es claro el caso del terremoto de 1662. Al año siguiente (1663) se reportan varios terremotos sin destacar ninguno en particular, los cuales se llegaron a sentir con fuerza en Puebla y Veracruz; no es claro si alguno de los temblores de la secuencia de 1663 estuviese localizado en la zona 7, pero existe la

posibilidad. Los temblores característicos de esta zona son los de 1965 y 1978 (Chael y Stewart, 1982; Núñez-Cornú, 1983 y 1987).

Zona 8, Pinotepa Nacional - Jamiltepec

Para los temblores ocurridos en la zona 8 son habituales los reportes de las localidades de la costa de Guerrero, mientras que casi nunca hay reportes de Tehuantepec. En esta zona es importante mencionar el temblor de San Sixto (28 de marzo, 1787) que por los reportes de daños y el área afectada se infiere que tuvo magnitud superior a 8.0 y probablemente alcance 8.5. Es el más grande de todos los sucedidos en la región en los últimos 400 años; este gran terremoto fue seguido de 141 años de ausencia de sismicidad de gran magnitud en la zona. Las áreas más afectadas por los temblores de esta zona son: *Chacahua, Jamiltepec, Pinotepa Nacional y Ometepec*. Los temblores característicos de esta zona son los de 1968 y 1982 (Chael y Stewart, 1982; Astiz y Kanamori, 1984; Núñez-Cornú, 1987).

HOMOGENEIDAD DEL CATALOGO

Para los siglos XVII y XVIII se tiene una media de diez temblores por siglo sentidos con intensidad $I_{MM} \geq VI$ en la ciudad de Oaxaca, mientras que para los siglos XIX y XX este valor sube a 22; esto se debe básicamente al aumento de reportes para eventos moderados en las zonas 1-Mixteca Media y 3-Norte y Cañada, y al aumento de eventos reportados para la zona 8-Pinotepa Nacional - Jamiltepec en el siglo XX (figura 8). Probablemente eventos de magnitud 7.0 - 7.5 ocurridos en los siglos XVII y XVIII no pudieron ser evaluados adecuadamente o no fueron reportados; los eventos del presente siglo ocurridos en la zona 8 no superan la intensidad $I_{MM} = VI$ en la ciudad de Oaxaca. Por otra parte, Orozco y Berra (1887-1888) y Rojas *et al.* (1987), citando documentos indígenas, reportan temblores fuertes en los siguientes años: 1460, 1462, 1469, 1474, 1475, 1480, 1489, 1495, 1496, 1507 (detallado por Martínez Gracida), 1512, 1513, 1530, 1533 y 1537. En algunos años se reporta más de un temblor, lo cual nos da un mínimo de 15 eventos importantes en un período de 77 años. Aunque no es posible afirmar que todos estos temblores ocurrieron en la región de interés en este estudio, sí se puede estimar que una parte importante de estos temblores ocurrieron dentro de dicha región. En lo que respecta a su magnitud, teniendo en cuenta la alta sismicidad del sur de México (*Guerrero y Oaxaca*) y al oriente del país (*Puebla y Veracruz*), se puede afirmar que la magnitud de la mayoría de estos temblores pudiera ser similar a los del catálogo propuesto.

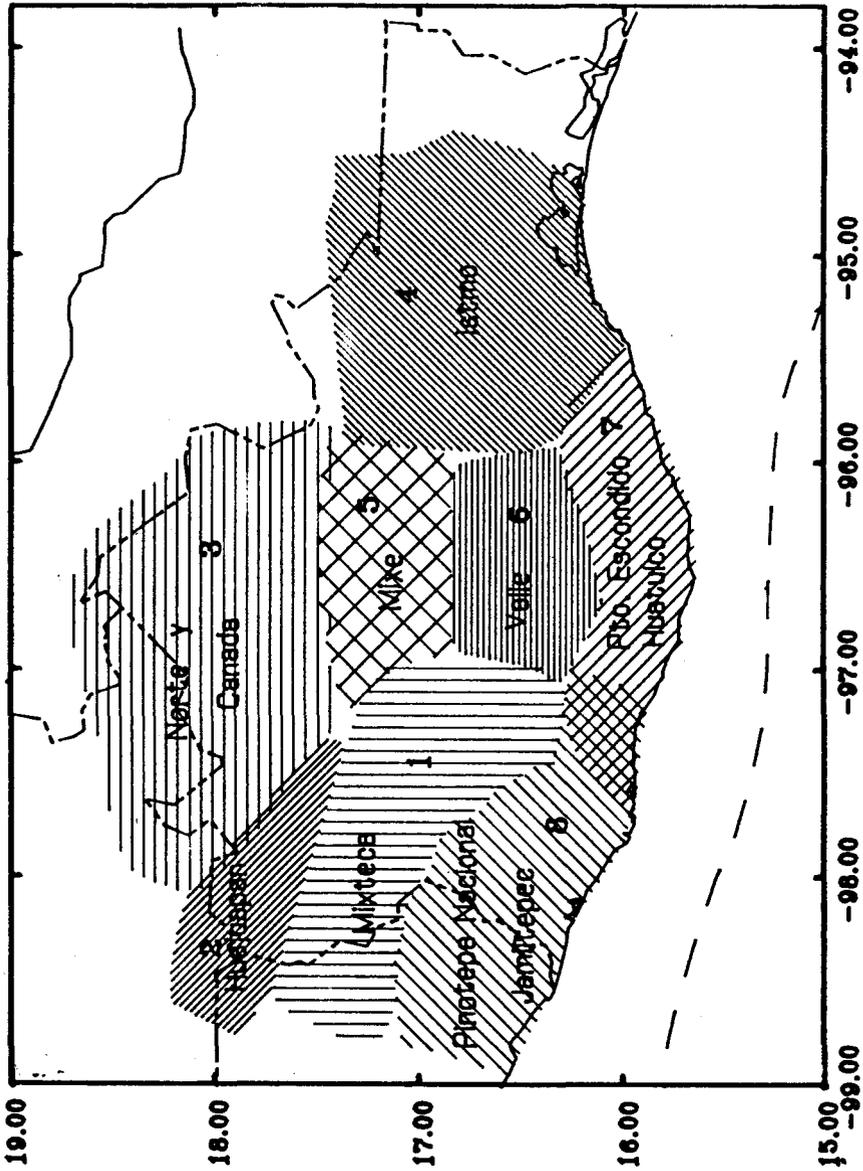


Fig. 8. Zonas sísmicas del estado de Oaxaca. La justificación para proponer esta macrozonificación se presenta en el texto.

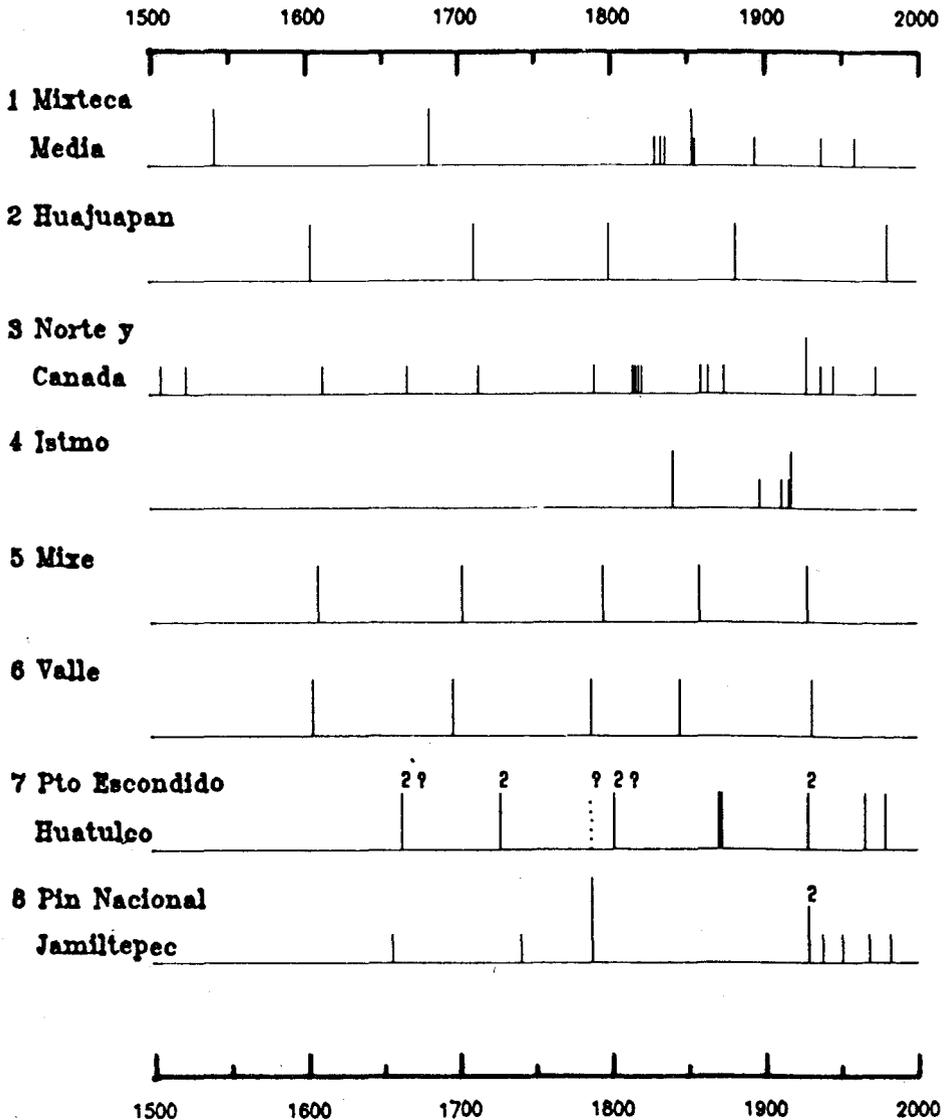


Fig. 9. Secuencia temporal de sismos importantes ($m_b \geq 6.5$, $M_s \geq 7.0$) asignados a las ocho zonas sísmicas de Oaxaca. El tamaño de la barra que representa a cada evento indica su intervalo de magnitud de acuerdo con los grandes grupos definidos en el apéndice (barra pequeña, *mo*; barra grande, *ga*; barra mayor *ma*). Los números en la parte superior izquierda de algunos eventos indican el número de eventos que ocurren en un intervalo de un año.

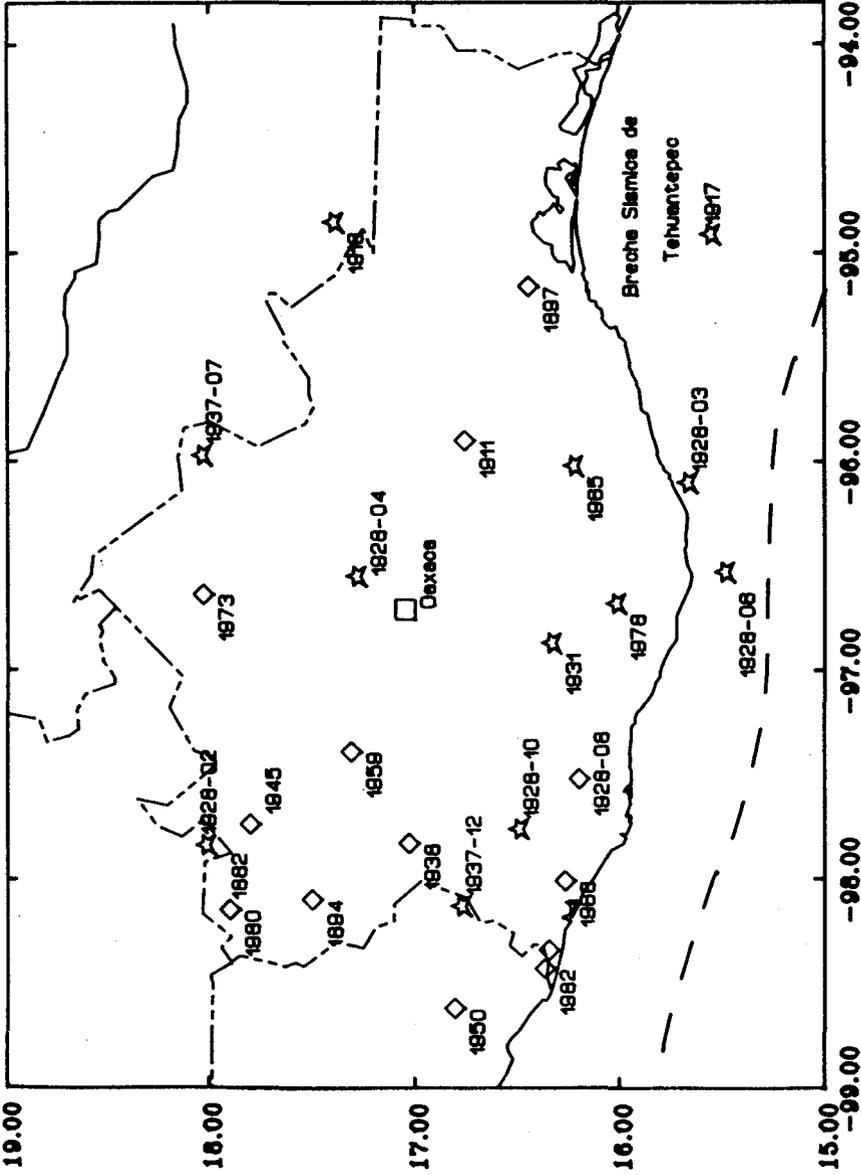


Fig. 10. Carta epicentral de los eventos importantes ($M_s \geq 7.0$, $m_b \geq 6.5$) ocurridos en el estado de Oaxaca en el período 1882-1988 (modificado de Núñez-Cornú, 1983). Los rombos y estrellas indican el epicentro más probable. Según los resultados de este estudio, sólo existe un sismo importante (1917) ocurrido en la Brecha de Tehuantepec durante los últimos 480 años. Nótese que los epicentros de los sismos costeros, subducción y falla normal no se repiten durante los últimos 100 años; en otros trabajos se demuestra que las áreas de réplicas para los eventos de 1928 a la fecha tampoco se sobreponen (Núñez-Cornú, 1983; Núñez-Cornú y Ponce, 1984). Observamos que no ocurrió ningún evento costero entre 1882 y 1928, por lo tanto durante los últimos 100 años no se hubiera repetido ningún terremoto en una misma falla.

Se puede considerar que la muestra es más homogénea para las zonas 2-Huajuapán, 3-Norte y Cañada, 5-Mixe y 6-Valle. En el caso de la zona 7-Puerto Escondido - Huatulco, considerando que las magnitudes medias son mayores que para la zona 8, y que los temblores tienden a ocurrir en pares, la muestra sería razonablemente completa desde 1662.

Para la zona 1-Mixteca Media y la zona 8-Pinotepa Nacional - Jamiltepec, no es claro a partir de qué momento la muestra es completa. Para la zona 4-Istmo, la muestra no es completa ni homogénea, principalmente a causa de que los sismos de profundidad intermedia presentan magnitudes máximas comprendidas entre 6.0 y 6.5.

TIEMPOS DE RECURRENCIA

Para estimar los tiempos de recurrencia se han utilizado los sismos del catálogo (Apéndice) que tienen asignada $m_b \geq 6.5$ en el caso de temblores interiores o profundos, o una $M_s \geq 7.0$ para los temblores someros o costeros. Los temblores anteriores a 1900 se han evaluado en función de la intensidad calculada y su localización. En relación con su tamaño, se han dividido en tres grupos: moderados (*mo*) $M_s \leq 7.5$, $m_b \leq 7.0$; grandes (*gd*) $7.5 < M_s \leq 8.0$, $7.0 < m_b < 8.0$; y mayores (*ma*) M_s , $m_b > 8.0$ (figura 8 y apéndice). En la Tabla 1 se presentan los resultados del análisis detallado para cada zona sísmica.

Zona 1, Mixteca Media

Hay diez eventos reportados para esta zona. Esto nos da un promedio de 46.4 ± 57.3 años, lo cual sugiere que la muestra es incompleta o no es homogénea. En la figura 6 se observa que para antes de 1830 sólo existen dos reportes, lo cual sugiere que la muestra es incompleta. Sin embargo, si utilizamos sólo los eventos ocurridos en 1542, 1682 y 1854, que aparentemente son los mayores y que suceden al este de la zona (aunque el de 1542 tiene pocos datos), obtenemos 156 ± 22 años. Conviene señalar que los temblores posteriores a 1854 no alcanzan la magnitud de los de 1682 y 1854. Si la estimación del período de recurrencia es significativa para los tres sismos mayores, concluimos que el potencial sísmico para esta zona es alto en la actualidad. Han transcurrido 134 años desde la ocurrencia del terremoto de 1854, equivalente al límite inferior del tiempo de recurrencia estimado.

TABLA 1

SISMICIDAD ($m_b \geq 6.5$, $M_s \geq 7.0$), TIEMPOS DE RECURRENCIA, DURACION DEL LA BRECHA HASTA 1988 Y SISMO MAXIMO PARA LAS 8 ZONAS SISMICAS DEFINIDAS PARA EL ESTADO DE OAXACA.

ZONA	SISMICIDAD	TIEMPO RECURRENCIA	TIEMPO TRANSCURRIDO	TEMBLOR MAXIMO
1 MIXTECA	1542, 1682, 1830, 1833, 1836, 1854, 1856, 1894, 1938, 1959	46.4 ± 57.3	19	1854 (8.0)
MEDIA	<i>Grandes (Este)</i> 1542, 1682, 1854	156.0 ± 22.0	134	
	<i>Medianos (Oeste)</i> 1830, 1833, 1856, 1894, 1938, 1959	25.8 ± 16.0	29	
2 HUAJUAPAN	1603, 1711, 1800, 1882 1980	94.2 ± 11.1	8	1980 (7.0)
3 NORTE CAÑADA	1507, 1523, 1611, 1667 1714, 1790, 1815, 1817 1819, 1821, 1859, 1864 1874, 1928, 1937, 1945 1973	29.2 ± 27.8	15	1928 (7.7)
4 ISTMO	1841, 1897, 1911, 1916 1917		72	1841
5 MIXE	1608, 1702, 1795, 1858 1928	80.0 ± 16.1	60	1928 (7.7)
6 VALLE	1604, 1696, 1787, 1845 1931	81.8 ± 16.1	57	1931 (8.0)
7 PUERTO ESCONDIDO	1662, 1727, 1727, 1801 1870, 1872, 1928-03, 1928-06, 1965, 1978	35.2 ± 31.8	10	1870 (8.0)
HUATULCO	<i>Mod. Pares</i> 1662-63, 1727-27, 1801-01 1870-72, 1928-28, 1965-78	62.9 ± 9.7	10	
8 PINOTEPA NACIONAL JAMILTEPEC	1655, 1740, 1787, 1928-08 1928-10, 1937, 1950, 1968 1982, 1982	40.8 ± 48.8	6	1787 (8.5)

Zona 2, Huajuapán

Esta zona cuenta con cinco eventos, es una de las mejor definidas y en la que están bien documentados los temblores. En este caso se obtiene un período de 94.20 ± 11.09 años. El último de la serie ocurrió en 1980, por lo cual el peligro sísmico actual es muy bajo para esta zona.

Zona 3, Norte y Cañada

En esta zona hay registrados 17 temblores, con tiempo de recurrencia de 29.2 ± 27.8 años, dato poco útil para el pronóstico de temblores. Esta es la zona más extensa y que más eventos contiene; probablemente se incluyen sismos generados en varias unidades sismogénicas; lamentablemente los datos de intensidad analizados no permiten separar familias cualitativamente distintas. No es posible estimar la variación del peligro sísmico con el tiempo, ya que el último terremoto ocurrió hace 15 años (1973).

Zona 4, Istmo

Cuenta solamente con cinco eventos de importancia registrados en un período de 200 años, de los cuales cuatro suceden en un intervalo de 21 años (1897 - 1917); con estos datos no se puede hablar de períodos de recurrencia. La sismicidad de esta zona ocurre principalmente a profundidades intermedias ($50 \text{ km} < H < 200 \text{ km}$), en una zona de gran complejidad de la morfoestructura de la placa subducente. Este hecho puede reflejarse en una sismicidad característica de magnitud no muy alta ($m_b < 6.5$) y en un proceso poco regular. Otro hecho importante en esta zona es que han transcurrido 91 años desde el último temblor somero que afectó severamente a Juchitán y Tehuantepec, situado en la parte sur del Istmo de Tehuantepec; el evento de enero de 1983 ($M_s = 6.7$) parece ser menor que el de 1897. El evento del 29 de diciembre de 1917 ($M_s = 7.1$) tiene importancia en la definición de la brecha sísmica de Tehuantepec y en la estimación de su potencial sísmico actual (Singh *et al.*, 1981; Nishenko y Singh, 1987b).

Zona 5, Mixe

Para esta zona se tienen cinco temblores asignados, acerca de los cuales se dispone de más información, debido a que la ciudad de Oaxaca se encuentra dentro

de esta zona. En este caso, se obtiene un tiempo de recurrencia de 80 ± 16 años. El último gran terremoto ocurrió en 1928, hace 60 años, lo que significa que en la región se presenta un potencial sísmico relativamente alto en la actualidad.

Zona 6, Valle

En esta región también se tienen cinco terremotos asignados. Al igual que en la zona 5 también se dispone de bastante información para estos eventos, debido a su cercanía a la ciudad de Oaxaca. Con los temblores asignados para esta zona se obtiene un tiempo de recurrencia de 81.7 ± 16 años. Aquí el último terremoto ocurrió en 1931, hace 57 años.

Zona 7, Puerto Escondido - Huatulco

En este caso se tienen diez terremotos, lo cual nos da un tiempo de recurrencia para esta zona, de 35.2 ± 31.8 años. Sin embargo, también se puede intentar un análisis considerando que los eventos en esta zona ocurren por pares, como se mencionó anteriormente. Si consideramos los cinco pares 1662-1663, 1727 (marzo 3 y 18), 1801 (octubre 5 y 6), 1870-1872 y 1928 (marzo 22 y junio 17) como sucesos principales, se obtiene un tiempo de recurrencia para ellos de 66.1 ± 7.8 años. En 1965 y 1978 ocurren dos eventos en la zona, 37.2 y 50.5 años después del par de 1928. Si el último tiempo se incorpora a la secuencia anterior, se obtiene un tiempo medio de recurrencia de 62.9 ± 9.7 años. En las secuencias anteriores, el evento de 1801 también pudiera ser considerado como par de una de las grandes réplicas del evento de 1787. En este caso, el par a considerar sería 1787-1801, ocurrido 60 y 74 años después de 1727. Si consideramos esta posibilidad, el período de recurrencia para los pares de eventos no cambia substancialmente si tomamos los tiempos medios de la ocurrencia de cada par o el tiempo del primer evento. En conclusión, como los últimos eventos ocurrieron en 1965 y 1978, entonces el peligro sísmico en la zona es bajo en la actualidad.

Zona 8, Pinotepa Nacional - Jamiltepec

Para esta zona costera, también se tienen diez eventos; el tiempo de recurrencia promedio en este caso es de 40.8 ± 48.8 años. Hay que mencionar que en esta zona, después del temblor de San Sixto (28 de marzo, 1787) siguió un período de calma sísmica de 141 años. Es la zona que más actividad ha mostrado en el pre-

sente siglo, desde su reactivación en 1928. El último evento ocurrió en 1982. El alto valor de la desviación estándar del período de recurrencia refleja la complejidad de la zona de subducción.

En un estudio más detallado para las zonas costeras (7 y 8) utilizando la sismicidad de los últimos 116 años (Núñez-Cornú y Ponce, 1984), se observa que no ha repetido ningún evento con igual área epicentral en los últimos 116 años en los cinco sectores en que se divide la costa de Oaxaca. Es notable que, después de un período de calma de 56 años en las dos zonas (1872 - 1928), en los últimos 60 años se ha desarrollado una gran actividad sísmica en la costa de Oaxaca; 11 temblores con $M_s > 7.0$, cuatro en la zona 7 y siete en la zona 8. En 1928 ocurren cuatro de ellos entre marzo y octubre ($M_s \geq 7.4$).

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Se presenta un Catálogo Sísmico del estado de Oaxaca (Apéndice) para los últimos 480 años, con 90 eventos reportados como causantes de daños en la región de Oaxaca y/o sentidos en la ciudad de Oaxaca con una $I_{MM} \geq VI$, y en el cual hay 68 eventos mayores ($m_b \geq 6.5$; $M_s \geq 7.0$) con epicentro confirmado en esta región. La región de interés (comprendida entre 15.00° y 18.50° N, y 94.50° y 98.00° W) se dividió en ocho zonas sísmicas.

Durante el presente siglo, en todas las zonas han ocurrido eventos que se han estudiado con detalle (aunque los eventos estudiados en la zona 4 son de un nivel de magnitud inferior al rango de este catálogo). Estos eventos se tomaron como característicos de cada zona. De esta manera, se tienen dos zonas costeras (7 y 8), donde los temblores son del tipo "a" (subducción); tres zonas interiores (2, 3 y 5) con temblores tipo "b" (falla normal y profundidad intermedia) y dos zonas interiores (6) con temblores tipo "c" (falla normal y someros), aunque la zona 1 también presenta sismos del tipo "b". La zona 4-Istmo probablemente incluye eventos de los tipos "a", "b" y "c".

Se han obtenido 68 eventos mayores ocurridos en un período de 480 años dentro de una región de aproximadamente $200,000 \text{ km}^2$; estos datos muestran que el período de recurrencia promedio para todo el estado de Oaxaca es $TOAX = 7.2 \pm 10.7$ años. Igualmente podemos calcular los períodos de recurrencia para todos los eventos de subducción ($T_{SUB} = 18.9 \pm 24.2$ años); para los sismos de profundidad intermedia

($T_{INT} = 12.4 \pm 16.5$ años) y para los de falla normal y someros ($T_{NOR} = 55.6 \pm 32.0$ años). Sin embargo, estos números tienen poco significado para estimar el potencial sísmico en una zona específica del estado, pues es claro que para cada uno de los diferentes tipos de eventos (subducción, profundidad intermedia, de falla normal o el total), se está considerando más de una unidad sismogénica.

Los tiempos de recurrencia determinados en este trabajo (Tabla 1) para las 8 zonas sísmicas definidas en el estado de Oaxaca sí ofrecen resultados de interés para la estimación del potencial sísmico a corto y mediano plazo en algunas regiones del estado. En algunos casos, las desviaciones estándar de los tiempos de recurrencia son menores del 20% del valor de la media.

De particular interés es la zona 1-Mixteca Media, para la que postulamos una separación entre sismos mayores (flanco Este) y sismos moderados (flanco Oeste). El sector Este presentaría el más alto potencial sísmico en la región, ya que han transcurrido 134 años desde el último terremoto. El próximo temblor sería probablemente del tipo "c", similar a los definidos para la zona 6-Valle; su epicentro estaría localizado aproximadamente en $16.60^{\circ} \pm 0.30^{\circ}$ N y $97.40^{\circ} \pm 0.30^{\circ}$ W, con una profundidad entre 25 y 40 km y mecanismo de falla normal. Sus efectos serían similares a los del terremoto de 1854. Conviene señalar que estos temblores (1542, 1682 y 1854), en especial el de 1854, son los únicos que aparentemente afectan por igual tanto la costa, como el interior del estado.

Las zonas 2-Huajuapán, 5-Mixe y 6-Valle son las que presentan períodos de recurrencia con una desviación estándar relativamente baja. Si las estimaciones para estas zonas son correctas, entonces concluimos que la región de Huajuapán tiene en la actualidad un potencial sísmico bajo. Al contrario, las zonas 5-Mixe y 6-Valle tienen en la actualidad un potencial sísmico alto, pues en ambas han transcurrido alrededor de 50 años desde la ocurrencia del último terremoto y los períodos de recurrencia varían entre 64 y 96 años. Para la zona 5-Mixe el terremoto máximo probable sería semejante al de 1928 (17.29° N, 96.55° W, $H = 124$, $M = 7.7$). El terremoto máximo probable para la zona 6-Valle sería similar al ocurrido en 1931 (16.34° N, 96.87° W, $H = 40$, $M = 8.0$).

La zona 3-Norte y Cañada presenta una actividad sísmica frecuente de magnitud moderada; considerando que es la más extendida, pudiera estar constituida por varias unidades sismogénicas. La metodología utilizada en este trabajo no permitió

analizar con mayor detalle esta región. El sismo máximo probable en la zona 3-Norte y Cañada tendría una magnitud de 7.7 y su hipocentro estaría situado aproximadamente a 80 km de profundidad.

Por otra parte, para la zona 4-Istmo no se contó con suficiente información para estudiar adecuadamente la sismicidad allí ocurrida. Una de las posibles causas de esto es que la magnitud máxima esperada para los eventos de profundidad intermedia no es, por lo general, superior a 6.5 (m_b). Con la metodología utilizada en el presente trabajo, la mayoría de los eventos serían ignorados por no reportar una $I_{MM} \geq VI$ en la ciudad de Oaxaca o no haber causado daños importantes en algún poblado del Istmo de Tehuantepec. Esto, sin embargo, nos permite sugerir que el sismo máximo probable para la zona 4-Istmo sería de $m_b < 7.0$. Los que tienen hipocentro en el centro del Istmo ($17^\circ N$, $95^\circ W$) ocurren a profundidades entre 100 y 180 km. Aquellos que ocurren en las cercanías de la ciudad de Tehuantepec también serían de falla normal a profundidades menores de 60 km. Finalmente, en la región del Golfo de Tehuantepec detectamos sólo un evento con $M_s = 7.1$, probablemente asociado al proceso de subducción.

La zona 7-Puerto Escondido - Huatulco presenta en promedio un período de recurrencia de 35.2 ± 31.8 años. La región es muy extensa e incluye más de una unidad sismogénica. Como se ha mencionado anteriormente, un análisis más detallado de la sismicidad durante los últimos 116 años en la costa de Oaxaca muestra que en este período no se ha repetido ningún terremoto en la misma falla (Núñez-Cornú, 1983; Núñez-Cornú y Ponce, 1984). Es interesante notar que, en general, la secuencia sísmica puede ser analizada como constituida por pares de eventos importantes con período de recurrencia de 62.9 ± 9.7 años. Este podría ser considerado como un ciclo cuasi-regular de liberación de energía, que estaría relacionado con el grado de acoplamiento de las placas de Cocos y Norteamérica. El hecho de que el temblor de 1965 ocurriese a 37.5 años después del par de 1928, y que haya ocurrido supuestamente un evento principal en 1787, 60 años después del par de 1727 no modifica substancialmente la estimación del tiempo de recurrencia para los pares de eventos en la región. Esto es un argumento adicional para considerar que la zona 7-Puerto Escondido - Huatulco está conformada por lo menos de dos unidades sismogénicas; en este caso, los datos sugieren que existiría una fuerte interacción del campo de esfuerzos entre ellas. Este modelo explica formalmente los 56 años de calma sísmica observada en la costa, entre Puerto Escondido y Huatulco, para el período 1872 y 1928.

La zona 8-Pinotepa Nacional -Jamiltepec presenta en promedio un período de recurrencia de 40.8 ± 49.9 años. Si observamos la secuencia sísmica (figura 8) es notable la ocurrencia del gran terremoto de 1787, que fue seguido por un período de calma sísmica ($M_s \geq 7.0$) de 141 años (1787-1928). En 1928 se reactiva la región con la ocurrencia de dos eventos en un lapso breve de tiempo (1928-08 y 1928-10) y posteriormente han ocurrido cinco sismos moderados en la zona. Para el período anterior a 1787 reconocemos sólo dos eventos moderados; esto sugiere que la muestra es incompleta o que continuamente se había estado acumulando energía sísmica antes del gran terremoto de 1787. Por lo tanto, el período de recurrencia con una dispersión tan grande refleja el complejo e irregular proceso de liberación de energía sísmica en esta zona. En consecuencia, es imposible estimar el peligro sísmico a corto o mediano plazo para la ocurrencia del sismo máximo que puede alcanzar una magnitud de 8.5, similar al ocurrido en 1787.

Otros autores han estudiado la sismicidad de gran magnitud que afecta al estado de Oaxaca. McNally y Minster (1981) calculan el deslizamiento sísmico promedio durante los últimos 480 años para la Placa de Cocos en la costa de Oaxaca, utilizando los temblores de la Tabla 2.I, aceptando la hipótesis de que todos los temblores sentidos en la ciudad de Oaxaca con una intensidad (*Rossi-Forel*) \geq IX son del tipo a. Concluyen que existe una correlación estable en el tiempo entre la cantidad de deslizamiento sísmico y el deslizamiento propuesto por el modelo RM2 de Minster y Jordan (1978). Utilizan estos mismos datos para afirmar que los tiempos medios de recurrencia en la costa de Oaxaca son de aproximadamente 35 años; en la Tabla 2.I listamos los eventos utilizados por dichos autores para el período 1542-1979. Según nuestra interpretación, sólo cuatro de ellos pueden ser considerados de subducción, y los hemos asignado a la zona 7-Puerto Escondido - Huatulco. Es notable que los autores hayan omitido el gran terremoto de 1787. En la Tabla 2 resumimos los cálculos de los tiempos de recurrencia para la zona de subducción de Oaxaca propuestos por McNally y Minster (1981); además, repetimos el mismo cálculo si eliminamos los eventos que según nuestra interpretación no son de subducción y finalmente damos nuestra estimación del período de recurrencia medio para toda la zona de subducción de Oaxaca (Tabla 1, zonas 7 y 8). Los mismos autores también analizan la sismicidad ($M_s \geq 7.5$) para el período 1898-1979; postulan la ocurrencia de sismos en dos unidades sismogénicas (A y B en Tabla 2.II) independientes. Sus estimaciones de tiempos de recurrencia son también del orden de 35 años. Según nuestra interpretación, sólo dos de los cinco eventos listados por McNally y Minster (1981) son claramente del tipo de subducción de la costa de Oaxaca y ocurren con un inter-

valo de 50 años. En conclusión, la metodología aplicada por McNally y Minster (1981) para seleccionar eventos supuestamente originados en la interfase de las placas de Cocos y Norteamérica en la costa de Oaxaca no es correcta. Además, los autores omitieron el evento de mayor magnitud ocurrido en la costa de Oaxaca durante los últimos 480 años (1787 Ms \approx 8.5). Sus resultados sobre un aparente tiempo medio de recurrencia estable para la zona de subducción de Oaxaca entre 1542 y 1979, sólo refleja un artificio numérico, dependiendo de qué eventos son seleccionados para cada familia.

Singh *et al.* (1981), usando terremotos de los últimos 130 años, subdividen la costa de Oaxaca en tres zonas (Tabla 2.III), obteniendo para la zona Oaxaca oeste un valor de 38 años; Oaxaca centro, 51 años y para Oaxaca este, 34.5 años. Para calcular estos tiempos incluyen eventos que, de acuerdo con nuestra interpretación, no son del tipo "a" (subducción). En la zona este, si eliminamos el evento de 1897, sólo quedan dos eventos con un lapso de 37 años entre ellos. En la zona central incluyen el de 1931, aunque al calcular tiempo medio no lo toman en cuenta, ya que si lo hicieran se tendría un TREC = 36 ± 29 años. Para la zona oeste incluyen los temblores de 1854 y 1894, que consideramos en otras zonas, aunque aclaran que la localización no es confiable; por lo tanto, sólo se tiene un lapso de 40 años entre dos temblores. Además, estos autores no han incluido dos importantes temblores, el del 27 de marzo de 1872 y el del 9 de octubre de 1928.

Astiz y Kanamori (1984) proponen la división de la costa de Oaxaca en cinco zonas (Tabla 2.IV). Para disminuir la incertidumbre en los tiempos medios de recurrencia, consideran como eventos unitarios varios pares de eventos, al definir un doblete como dos eventos que ocurren en un período menor de tres años, a menos de 100 km de distancia y una diferencia de magnitudes no mayor de 0.2 unidades. Estos autores incluyen como eventos tipo a los siguientes: en la zona oeste, 1854 y 1894; 1931 en la zona central y 1897 en la zona este. Los tiempos de recurrencia para las zonas oeste y este no quedan definidos, pues sólo cuentan con dos eventos cada una. El tiempo de recurrencia de 54 años para Oaxaca centro, obtenido tanto por Singh *et al.* (1981) como por Astiz y Kanamori (1984) es congruente con el valor TREC_{8D} = 62.9 ± 9.7 años, calculado para el período 1662-1988 en la zona 8, si consideramos que los eventos ocurren en pares. El principal problema que presentan los modelos estudiados por Singh *et al.* (1981) y Astiz y Kanamori (1984) es la incertidumbre de las localizaciones de los sismos previos a 1950. Anteriormente a este trabajo, no se había intentado corroborar o corregir dichas localizaciones.

TABLA 2

MODELOS DE SISMICIDAD Y TIEMPOS DE RECURRENCIA ASOCIADOS A LA
SUBDUCCION PARA LA COSTA DE OAXACA

I) McNally y Minster (1981): *Tiempo medio de recurrencia para toda la zona de subduccion del Edo. de Oaxaca, de 1542 a 1979.*

FECHA DE EVENTOS IRF \geq IX, CD de OAXACA	INTERPRETACION		COMENTARIOS
	SUBDUCCION	OTRAS ZONAS	
1542		1	
1604		6	
1662	7		
1696		6	
1701		5	Año de 1702
1711		2	
1727	7		
1795		5	
1801	7		
1845		6	
1870	7		
1928		5	Este es el temblor que mas dano produjo en la Cd de Oaxaca. Abril 17

TREC = 35.1 ± 24.0 años

TREC = 69.3 ± 4.5 años

TREC = 18.9 ± 24.2 años

McNally y Minster (1981)

Solo 4 eventos de subducción

Este trabajo, todos los eventos subducción (2 con $M_s \geq 7.0$ para el periodo 1542-1988

Los autores no consideran el terremoto de 1787 ($M_s = 8.5$), el mayor ocurri en la Costa de Oaxaca en los últimos 480 años.

II) McNally y Minster (1981): *Tiempo medio de recurrencia en la zona subducción para el periodo 1898-1979 ($M_s \geq 7.5$).*

FECHA DE EVENTOS $M_s \geq 7.5$	INTERPRETACION		COMENTARIOS
	SUBDUCCION	OTRAS ZONAS	
1917		4	Golfo de Tehuantepec
1931	} → A	6	
1978		7	
1903	} → B		Fuera de la region
1928		7	

TREC = 32.5 ± 8.4 años

(McNally y Minster, 1981)

Con solo dos eventos ocurridos en la zona 7, ocurridos con 50 años de diferencia dificilmente se puede definir tiempo de recurrencia significativos.

TABLA 2 (Continuación)

III) Singh y otros (1981): *Tiempos medios de recurrencia en segmentos de zona de subduccion de la Costa de Oaxaca, periodo 1854-1980.*

FECHA DE EVENTOS M _s ≥ 7.0	INTERPRETACION		COMENTARIOS
	SUBDUCCION	OTRAS ZONAS	
1897		4	
1928 } → Oaxaca	7		Marzo 22
1965 } Este	7		
1870	7		
1928 } → Oaxaca	7		Junio 17
+1931 } Centro		6	
1978	7		
1854		1	
1894 } → Oaxaca		1	
1928 } Oeste	8		Agosto 4
1968	8		

+ *Temblores no utilizados en el calculo de tiempos de recurrencia*

TREC(Este) = 34 años	(Singh y otros, 1981)
TREC(Centro) = 51 años	(Singh y otros, 1981)
TREC(Oeste) = 38 años	(Singh y otros, 1981)

IV) Astiz y Kanamori (1984): *Periodos de recurrencia observados para grand temblores superficiales interplaca en la Costa de Oaxaca, periodo 1854-1982.*

-- Tehuantepec				
1897			4	
1928 } → Oaxaca	7			Marzo 22
1965 } Este	7			
+1870		7		
+1872		7		
*1928 } → Oaxaca	7			Junio 17
*1931 } Centro			6	
1978		7		
1854			1	
1894			1	
+1928 } → Oaxaca	8			Octubre 9
+1928 } Oeste	8			
1968		8		Agosto 4
1890				Fuera de la region
1937		8		
1950 } → Omtepec	8			
+1982		8		
+1982		8		

*,+ *Temblores considerados como Dobletes*

Tabla 2 (Continuación)

TREC(Oax. Este)	= 34.5 ± 3.6 años	(Astiz y Kanamori, 1984)
TREC(Oax. Central)	= 53.0 ± 4.2 años	(Astiz y Kanamori, 1984)
TREC(Oax. Oeste)	= 38.0 ± 3.5 años	(Astiz y Kanamori, 1984)
TREC(Ometepec)	= 30.6 ± 17.0 años	(Astiz y Kanamori, 1984)
Tsub(Ometepec)	= 22.5 ± 13.4 años	solo eventos subducción (3)

V) Nishenko y Singh (1988): *Catálogo de grandes temblores Mexicanos.*

+1897	} Oaxaca Este	7 7	4	Marzo 22
1928				
1965				
1870	} Oaxaca Centro a	7 7 7		Junio 17
1928				
1978				
1872	} Oaxaca Centro b	7 8		Octubre 9
1928				
1854	} Oaxaca Oeste	8 8 8 8	1 1	Agosto 4
1894				
1928				
1968				

+ Temblor no utilizada para el cálculo de tiempos de recurrencia

TREC(Oax. Este)	= 37 años	Nishenko y Singh (1987)
TREC(Oax. Centro a)	= 54 años	Nishenko y Singh (1987)
Tsub(Oax. Centro b)	= 56 años	Nishenko y Singh (1987)
TREC(Oax. Oeste)	= 38 años	Nishenko y Singh (1987)

Nishenko y Singh (1987b) proponen un modelo de tiempos de recurrencia para la costa de Oaxaca (Tabla 2.V) para el período 1854-1987. En este modelo eliminan el terremoto de 1931, el cual se ha demostrado que no es del tipo "a" (Núñez-Cornú, 1983; Singh *et al.*, 1985). Igualmente, no consideran en el cálculo el evento de 1897 que, como se discute anteriormente, pudiera no corresponder a un evento de subducción. Para la región oeste consideran los sismos de 1854 y 1894, los que interpretamos como eventos de la zona 1-Mixteca Media (Núñez-Cornú, 1983) y se documentan en las figuras 6 y 7 de este trabajo. Subdividen la zona Oaxaca centro en dos sectores, obteniendo en total cuatro zonas para la costa de Oaxaca. Estas cuatro zonas propuestas son similares a los sectores 2, 3, 4 y 5 de los cinco propuestos por Núñez-Cornú y Ponce (1984) para la costa de Oaxaca (zonas 7 y 8 de este trabajo) para el período 1873-1984. Sin embargo, cada uno de estos sectores contiene más de una unidad sismogénica y en ninguno de ellos se habría repetido un sismo en la misma falla en los últimos 116 años.

El estudio de los grandes temblores de Oaxaca se enfrenta a algunas interrogantes fundamentales que hemos intentado analizar en el presente trabajo:

- 1) El significado de la ocurrencia de eventos de gran magnitud como el de 1787 ($M_s \approx 8.5$), que deben constituir eventos múltiples que liberan simultáneamente la energía elástica acumulada en varias unidades sismogénicas. Este fenómeno de liberación irregular de la energía sísmica en las zonas de subducción se presenta en otras partes, por ejemplo en Chile central (Comte *et al.*, 1986). Allí se observa una gran regularidad en la ocurrencia de eventos de magnitud $M_s \geq 7.8$ frente a Valparaíso, pero una amplia variabilidad en la longitud de la falla a lo largo de la costa, entre 150 y 550 km de longitud. En 450 años ha ocurrido sólo un evento mayor (1730). En Oaxaca, en la zona 8-Jamiltepec - Pinotepa Nacional, el evento de 1787 ($M_s \approx 8.5$) demuestra que es posible la ocurrencia de un evento mayor; además, la sismicidad anterior y subsecuente a este evento sugieren que existen varias unidades sismogénicas "independientes" de tamaño moderado (≈ 50 -80 km). La secuencia sísmica documentada para los últimos 100 años muestra que los eventos "independientes" alcanzan magnitudes inferiores a 8.0 y en ese lapso no se repiten en la misma falla (Núñez-Cornú, 1983; Núñez-Cornú y Ponce, 1984; figura 10). Por otra parte, para la zona 7-Puerto Escondido-Huatulco, los períodos de recurrencia parecen ser razonablemente estables, si consideramos que ocurren en pares de eventos; esto sugiere que existiría la probabilidad de que ocurriese un evento mayor ($M_s \approx 8.5$) por ruptura simultánea de ambas (o más) unidades sismogénicas. En conclusión, si la historia sísmica considerada en un estudio es breve (150 años para el caso del sur de Oaxaca), entonces pudiéramos adelantar conclusiones erróneas sobre el sismo máximo para la zona y el significado de los períodos de recurrencia estimados para los eventos "independientes". Finalmente, es importante destacar que el gran terremoto de 1787 ($M_s = 8.5$) y la ocurrencia de cuatro eventos ($M_s \geq 7.4$) de subducción en un lapso de pocos meses en 1928, sugieren que existe una probabilidad alta para que rompan simultáneamente varias unidades sismogénicas.
- 2) En la parte sur de Oaxaca ocurren sismos mayores ($M_s = 8.0$) por fallamiento normal de la placa subducente de Cocos a distancias relativamente pequeñas en la costa, como el del 15 de enero de 1931 (Núñez-Cornú, 1983; Singh *et al.*, 1985). Este hecho crea dificultades en la interpretación sobre el origen de los eventos costeros de gran magnitud. Una interpretación inadecuada daría lugar a un catálogo de sismos de subducción contaminado, lo que conduciría a conclusiones erróneas

respecto a tiempos de recurrencia y posibles fenómenos de acoplamiento de las placas de Cocos y Norteamérica. En el presente estudio, usando la información macrosísmica y el conocimiento actual de la sismotectónica de la región, se ha intentado separar las distintas familias de eventos históricos mayores. El evento de 1854, que asignamos a la zona 1-Mixteca Media, es crucial para la interpretación del peligro sísmico en la zona sur de Oaxaca (8-Pinotepa Nacional - Jamiltepec). Podemos suponer dos escenarios: a) el evento efectivamente está bien asignado como de fallamiento normal, entonces, es importante explicar los 141 años de ausencia de actividad sísmica ($M_s \geq 7.0$) en la zona de subducción (8-Pinotepa Nacional-Jamiltepec) que siguieron al gran terremoto de 1787; b) el evento hubiera ocurrido en la zona de subducción, entonces la pregunta es si los sismos de fallamiento normal tipo 1931 ($M_s = 8.0$) estarían circunscritos a una región limitada de la placa subducente. En este caso, para explicar la zona de daños (figura 4) del terremoto de 1854, éste debería haber alcanzado una magnitud mayor que 8.0, lo que no sería congruente con la carencia de descripciones sobre maremotos o marejadas [tsunamis] en la costa (Cruz y Wyss, 1983; Ida *et al.*, 1967; Rascón y Villareal, 1975). En conclusión, para utilizar la sismicidad previa a 1920 con fines estadísticos, es indispensable profundizar en la metodología para reconocer eventos de subducción y diferenciarlos de eventos de falla normal.

- 3) En la región norte de Oaxaca ocurren sismos de profundidad intermedia ($H \approx 100$ km) con mecanismo de falla normal y magnitudes importantes ($m_b > 7.0$) que causan intensos daños en la zona epicentral. Uno de los resultados sorprendentes del presente trabajo es la notable regularidad en la ocurrencia de los sismos asociados a las zonas 2-Huajuapán y 5-Mixe. Teniendo en cuenta que las ciudades de Huajuapán de León y Oaxaca se han mantenido como poblados importantes desde la llegada de los españoles, consideramos que nuestra interpretación sobre la asignación de los sismos a dichas zonas es razonable. La carencia de modelos geofísicos teóricos que expliquen esta regularidad en los tiempos de recurrencia para eventos intraplaca de profundidad intermedia, limita el uso de los tiempos de recurrencia con fines de estimación del potencial sísmico originado por dichas regiones. Idénticos comentarios son válidos para la sismicidad de falla normal somera definida para las zonas 1-Mixteca Media y 6-Valle. Una de las limitaciones actuales para comprender los fenómenos físicos asociados a la ocurrencia de sismos de falla normal en el estado de Oaxaca es la falta de una red sismológica capaz de resolver los detalles de los procesos sismotectónicos para los eventos de mediana magnitud en la región.

- 4) El temblor del 29 de diciembre de 1917 con epicentro en el Golfo de Tehuantepec ocurre dentro de una zona propuesta como brecha sísmica para la cual no existían reportes previos de temblores fuertes históricos. Esto hace necesario una reevaluación del potencial sísmico de esta brecha.

En conclusión, es evidente la necesidad de profundizar en la búsqueda de información histórica sobre los grandes sismos mexicanos y mejorar los métodos de análisis de dicha información. Los resultados de investigaciones basadas en la información sobre los eventos ocurridos en los últimos 150 años pueden ser insuficientes para evaluar significativamente el potencial sísmico del estado de Oaxaca y los períodos de recurrencia para los eventos máximos; probablemente esta afirmación también sea válida para otras regiones de México.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Armando Cisternas por sus comentarios al manuscrito original. Igualmente a la Dra. R. M. Prol y los árbitros anónimos por sus sugerencias. A la Dra. Teresa Rojas, quien ofreció gentilmente información recientemente recopilada para el terremoto de 1854.

Este trabajo fue terminado durante la estancia de F. N. C. en la Cátedra de Geofísica gracias a una beca de la UNAM.

Contribución núm. 292 de la Cátedra de Geofísica.

APENDICE

CATALOGO SISMICO DE OAXACA

Fecha : Año, Mes, Día

Hora : Tiempo origen hora, min, seg. (GMT); hora local antes de 1882

Zona : Numero de acuerdo a la definicion del presente trabajo. Si no esta definida el epicentro se encuentra fuera de la región.

Intensidad : Mercalli Modificada en la Cd. de Oaxaca.

Magnitud : $M_s : 7.0 \geq m_o < 7.5$; $7.5 \geq ga \leq 8.0$; $ma > 8.0$
 $m_b : 6.5 \geq m_o < 7.0$; $7.0 \geq ga \leq 8.0$; $ma > 8.0$
 Singh y otros (1981, 1984)

Referencias:

- a) Este trabajo y/o Núñez-Cornú y Ponce , 1984.
- b) Figueroa (1975)
- c) Jiménez (1977)
- d) Gutenberg y Richter (1954)
- e) Duda (1965)
- f) Miyamura (1976)
- g) Kelleher y otros (1973)
- h) Singh y otros (1981), Singh y otros (1984)
- i) ISS
- j) Abe (1981)
- k) Cruz y Wyss (1983)
- m) Quintanar (1985)
- p) Nava y otros (1985)
- 1) Martínez Gracida (1886)
- 2) Gay (1881)
- 3) Orozco y Berra (1887-1888)
- 4) Cavo (1852)

CATALOGO SISMICO DE OAXACA (NUÑEZ-CORNU Y PONCE 1988)

FECHA	HORA	ZONA	INT(a)	MAG	DESCRIPCION
1507	20:	4	VII-VI	mo	Sentido en las regiones Mixteca, Mazateca, Chinanteca, Chontalpa y Zapoteca. Sentido (VI) en el Anáhuac (Valle de México).[1,3,5]
1523 0401	20:	3	VII-VI	mo	Sentido en la Cañada y en la Sierra, reportes de la Cd. de Oaxaca y la Cd. de Veracruz.[3,1]
1542 0317		1	VI	ga	Cd. de Oaxaca, sentido en Cd. de México trepidatorio (VII). Hay pocos datos para este temblor se asigna a esta zona en base a los efectos descritos por 1 y 3, y comparándolo con reportes para otros temblores, [1,3,5]
1603 1231	09:	2 *	VIII	ga	Temblor de San Silvestre, trepidatorio, duró 12 min. Cd. de Oaxaca, región Mixteca (IX). [1,2]
1604 0303	09:45	6 *	X	ga	Sentido trepidatorio en la Cd. de Oaxaca acompañado de fuertes ruidos subterráneos. Destrucción de la ciudad, duró 15 min., graves daños en todo el estado. [1,2]
1608 0108		5	VIII	ga	Sentido trepidatorio en la Cd. de Oaxaca. Caída de templos y conventos, duró 4 min. [1,2]
1611 0820		3	VI	mo	Sentido en los estados de Oaxaca, Puebla y Veracruz, y en Cd. de México (VI). [3] refiere uno en día 25 a las 03 a.m. muy fuerte y destructor en Jalisco. [1]
1619 0203	11:		VII		Cd. de Oaxaca, oscilatorio. Sentido en gran parte del país, con reporte de daños. (duró 15 min.) [1,3]
1640 0403	10:		VI		Sentido trepidatorio en la Cd. de Oaxaca y pueblos del estado, duró 6 seg. En Cd. de México (VII), en Malinalco (IX). [1]
1653 0117	03?				Espantoso terremoto sentido en gran parte de la República no se reportan daños. [1,5]
1655 1125	12:	8	VI	mo	Temblor de Santa Catarina. Sentido oscilatorio en la Cd. de Oaxaca, duración 10 seg. Sentido también en Cd. de México y Puebla (VII-VI). [1,3]
1662 0607	03:	7	VIII	ga	Cd. de Oaxaca, caída de conventos y torres de las iglesias, daños a edificios. No lo reporta 1, sólo hay datos de la Cd. de Oaxaca, se asigna a esta zona por la falta de reportes en otras regiones. [2,3]

CATALOGO SISMICO DE OAXACA (NUÑEZ-CORNU Y PONCE 1988)

FECHA	HORA	ZONA	INT(σ)	MAG	DESCRIPCION
1663					En este año, entre 5 Feb. y el 17 de Julio se sintieron muchos temblores en los estados de Oaxaca, Puebla y Veracruz, algunos de ellos bastante intensos sin destacar demasiado algunos de ellos. [1]
1667 0430	23:	3	VI	mo	Cd. de Oaxaca, sentido también en Puebla, Veracruz y Cd. de México. [1]
1682 0319	15:	1 *	IX-VIII	ga	Temblores de San José. Sentido trepidatorio, en la cd. de Oaxaca, duró más de 50 seg., sentido en Cd. de México con daños (VIII-VII). [1,2,3,4,5]
1692 0608	02:	*	VI		Cd. de Oaxaca, sentido en gran parte del país.
1696 0823	13:	6 *	IX	ga	Cd. de Oaxaca, caída de edificios, templos y conventos. Sentido también en Cd. de México, Puebla, Tlaxcala, Córdoba, el Sur y el Oriente del país. [1,2,3,4,5]
1702 1221	19:	5 *	VIII	ga	Sentido trepidatorio en la Cd. Oaxaca. Temblores de abruzos 1702-1703? [1,2]
1711 0816	21:	2 *	VIII	ga	Temblores de San Roque, sentido trepidatorio en la región Mixteca, Huajuapán (X), Tonalá. Sentido en Veracruz, Orizaba y Córdoba, reportado como uno de los más fuertes del País. En Cd. de México (VI) sonaron las campanas y daños. Duró 40 seg. trepidatorio y 5 minutos oscilatorio (?). Se reporta un sentido en Tlaxcala (IX) "a las once". Hay un reporte de que se sintió en el Bajío con daños (?). [1,3,5]
1714 0505	-23:	3	VII	mo	Sentido trepidatorio en Cd. de Oaxaca duró 15 seg. Sentido en pueblos de la Cañada y Sierra Norte de Estado. En Córdoba y Orizaba (VIII) con graves daños [1]
1727 0310		7 *	IX	ga	Temblores de San José, sentidos oscilatorios en la Cd. de Oaxaca. La ciudad quedó prácticamente en ruinas, al igual que muchos de los pueblos del estado. [1,2]
1727 0318		7 *	VIII	ga	Sentido oscilatorio en la Cd. de Oaxaca, reportado como más fuerte que el anterior. [1]
1740 0825	20:	8	VII	ga	Cd. de Oaxaca, sólo hay reportes del estado de Oaxaca, sin indicaciones de que haya sido trepidatorio, por eso se asigna a la costa. Sentido en Cd. de México [1,3]

CATALOGO SISMICO DE OAXACA (NUÑEZ-CORNU Y PONCE 1988)

FECHA	HORA	ZONA	INT(a)	MAG	DESCRIPCION
1776 0421	16:	*	V		Temblo de San Anselmo, sentido en la Cd. de Oaxaca, Juquila, Jamiltepec, y la región Mixteca. Fuertes daños en Acapulco donde destruyó el fuerte. (duró 4 min.) [3,1,4,5]
1787 0328	11:30	8 *	IX	ma	Temblores de San Sixto, Cd. de Oaxaca, sentido también en Cd. de México (VI) y Tehuantepec (VI). Se producen invasiones del mar reportadas desde Tehuantepec hasta Acapulco ocasionando daños graves. Existen reportados otros dos fuertes temblores uno el día 29 y otro más el día 30 del mismo mes, dada su proximidad en el tiempo y el "tamaño" del anterior se consideran réplicas, pero podrían también ser considerados como eventos independientes. [1,2,3,4,5]
1787 0403	10:	6 *	IX	ga	Sentido trepidatorio en la Cd. de Oaxaca. "las piedras saltaban del suelo", desmoronamiento de montes, etc.. la ciudad en ruinas. [1,2,3,4,5]
1788					Se reporta mucha actividad sísmica en la Región este año. [3]
1790 0420	02:	3	IV	mo	Sentido en Cd. de Oaxaca y en Córdoba (VIII).
1795 0323	13:50	5 *	IX-VIII	ga	Sentido trepidatorio en la Cd. de Oaxaca, duró 2 min. caída de templos y conventos, afectó Puebla y Veracruz. [3,5]. Lo reportan en el mes de mayo. [1,2,3,5]
1800 0308	09:	2 *	VIII	ga	Temblo de San Juan de Dios, sentido trepidatorio en Cd. de Oaxaca, la Mixteca y Cañada, duró más de 20 segundos. Se sintió en México, Puebla y Veracruz. [1,3,4,5].
1801 1005	24:	7 *	IX	ga	Temblores del Rosario, sentido trepidatorio en la Cd. de Oaxaca, duró 2 minutos. Sentido en Guerrero, Puebla, Veracruz y México. [1,2,3,4,5]
1801 1006		7	VI		Sentido oscilatorio en la Cd. de Oaxaca y resto del Estado (réplica?). [1]
1801 1009	2:30	7 ?	VIII		Fuertes daños en la Cd. de Oaxaca y en la provincia de Oaxaca. [5]
1806 032	17:	*		7.5	Temblo de la Encarnación, epicentro en Jalisco, se sintió en la región Mixteca (VI) y en la Cañada (VI). h(18.9, 103.8,-7.6) [3,1]
1815 0503	17:	3	VII	mo	Temblo de la Santa Cruz, sentido trepidatorio en la Cd. de Oaxaca, Tamazulapan (VIII). Sentido en México, Puebla y Veracruz. [1,3,5]

CATALOGO SISMICO DE OAXACA (NUÑEZ-CORNU Y PONCE 1968)

FECHA	HORA	ZONA	INT(º)	MAG	DESCRIPCION
1817 0404	17:	3	VI	mo	Sentido oscilatorio en la Cd. de Oaxaca, duró 27 segundos. Sentido en la Cañada (VIII), Tlaxcala, Córdoba y Orizaba. En Cd. de México trepidatorio y oscilatorio. [1,3,5]
1819 0503		3	VII	mo	Segundo temblor de la Santa Cruz, sentido trepidatorio en la Cd. de Oaxaca, duró 17 segundos. [1]
1820 0504	24:	*	VIII	7.6	Temblor de Santa Mónica, sentido trepidatorio en la Cd. de Oaxaca, acompañado de ruido subterráneo, duró 35 seg. Se reporta sentido con más fuerza en México, Puebla y Veracruz. En Acapulco se reportan graves daños e invasiones del mar. Si sólo se utilizara la información referida por 1, se asignaría como un temblor interior (zona 3), pero ésta no es congruente con la descripción de los daños en Guerrero y resto del país que refiere 3. Esto se podría explicar si éste es un terremoto muy grande (M=8.0) en Guerrero, o dos casi simultáneos. h(17.20, 99.60,-7.6) [1,3,5]
1821 0513	03:	3 *	VI	mo	Sentido trepidatorio en la Cd. de Oaxaca, duró 15 segundos. Sentido fuerte en Tehuacán y en Orizaba. [1,3]
1825 0124		*	VII		Temblor de Nuestra Sra. de Belén, sentido en la Cd. de Oaxaca trepidatorio 6 segundos, y oscilatorio 14 más. Es difícil asignar este terremoto a una zona en particular debido a la poca información disponible, en base a ésta, las zonas más viables serían la 1 ó la 3. Tampoco se puede ignorar ya que Martínez Gracida lo cita como "catastrófico". [1,3]
1830 01		1	VII	mo	Sentido fuertemente en la región Mixteca (VIII), Cañada y Valle. En Siitacayoapan se desgajó un cerro. [1]
1833 1204		1 *	V	mo	Temblor de Santa Bárbara. Sentido trepidatorio en la Cd. de Oaxaca acompañado de fuerte ruido subterráneo, duró 15 seg. Sentido en Guerrero, Puebla y Veracruz. [1]
1834 0315	06:	*	V		Temblor de San Rodrigo. Sentido oscilatorio por más de 50 segundos. Se sintió con más fuerza en Cd. de México. Sentido en Guerrero, Puebla y Veracruz [1].
1836 0830		1			Temblor de Santa Rosa, Cd. de Oaxaca trepidatorio por 6 seg. luego oscilatorio de sur a norte, daños ligeros. [1]

CATALOGO SISMICO DE OAXACA (NUÑEZ-CORNU Y PONCE 1988)

FECHA	HORA	ZONA	INT(a)	MAG	DESCRIPCION
1837 1118					Del 18 al 22 de este mes se reportan temblores sentidos en la costa, desde Pochutla hasta Acapulco, en especial en la zona de Jamiltepec, sentidos ligeros en región Mixteca. [1]
1837 1123	00:28		VII		Temblo de Santa Cecilia, epicentro en Colima-Jalisco (?), sentido trepidatorio en la Cd. de Oaxaca, duró 40 segundos. Afectó gran parte del país, existen reportes de fuertes daños en la Cd. de México y en Guadalajara. En Acapulco se sintió oscilatorio, cosa nunca vista en esta ciudad. Esto supone un temblor de magnitud > 8.0, o dos, uno con epicentro en la zona interior de Oaxaca y otro al oeste del país. h(20.00, 105.00.-,7.7). [1,3]
1841 0210	10:30	4	V	mo	Se sintió por más de 4 minutos destruyendo muchas construcciones en el Istmo de Tehuantepec (VIII), sentido también en el Valle, Mixteca y Sierra, pero con suavidad [1]
1845 0309	13:30	6 *	X	7.5	Temblo de Santa Francisca Viuda, sentido trepidatorio en la Cd. de Oaxaca, duró 2 minutos. Grandes daños en todo el estado excepto la costa del Pacífico. Sentido en Puebla y Veracruz con menos intensidad. h(16.60, 97.00.-,7.9). [1,2]
1845 0407	16:		V	7.9	Temblo del Señor de Santa Teresa, sentido oscilatorio en la Cd. de Oaxaca. Abarcó gran parte del país. h(16.60,99.20.-,7.9) [1,3]
1854 0505	09:15	1 *	VIII	7.7	Sentido primeramente oscilatorio, luego trepidatorio, duró más de 30 segundos, acompañado de fuerte ruido subterráneo. Afectó principalmente la Mixteca, Cañada y Valle (IX-VIII), en especial las poblaciones de Jamiltepec, Juquila, Huaxolotitlan, Amatenango, Tlaxiaco y Juxtlahuaca. Sentido en Cd. de México, sonaron las campanas. Sentido en Guerrero, Puebla, Tlaxcala y Veracruz. h(16.30, 97.60.-,7.7). [1,3]
1856 02002		1 *	VII	mo	Temblo de la Candelaria, Cd. de Oaxaca, sentido trepidatorio por más de 30 segundos, provoca cuarteaduras y daños en casas y edificios, graves daños en Silacayoapa. En Juxtlahuaca (VIII) y Silacayoapan (IX), región Mixteca. Sentido en Guerrero, Puebla y México, con menor intensidad. [1]

CATALOGO SISMICO DE OAXACA (NUÑEZ-CORNU Y PONCE 1988)

FECHA	HORA	ZONA	INT(■)	MAG	DESCRIPCION
1858 0502	09:	5 *	VI	ga	Sentido trepidatorio en la Cd. de Oaxaca, duró 15 segundos. Sentido en Villa Alta (VIII), y en la Sierra de Ixtlán. [1]
1858 0619	09:17	*	V		Sentido en gran parte del país, graves daños en Cd. de México, Chilpancingo, Morelia, Guadalajara y Colima. h(19.6,101.6,-,7.5). [1,3]
1859 1006	22:	3 *	VII	mo	Temblo Iniestra, sentido trepidatorio, duró 25 segundos, más fuerte en la Cañada. [1]
1864 1003	02:	3 *	VII	7.3	Sentido en la Cd. de Oaxaca trepidatorio acompañado por ruido subterráneo, duró 30 seg. Sentido en la región Mixteca (trepidatorio) y la Cañada con daños, se sintió intenso en Puebla y Veracruz. Se conoce como el Temblor de San Gerardo. h(18.70,97.40,-,7.3). [3,1]
1870 0511	23:30	7 *	X	7.9	Gran temblor oaxaqueño sentido oscilatorio de sur a norte acompañado de un fuerte ruido subterráneo, luego trepidatorio por 30 segundos, haciendo "saltar las piedras del suelo" y caer multitud de edificios. Miahuatlán (XI) y Pochutla (XI) quedaron en ruinas, en esta zona se formaron grandes grietas en los campos y hubo derrumbes en los cerros, se reportó un gran calentamiento del suelo (no era posible caminar descalzos). En Puerto Angel se vió "hervir a borbotones el agua y la arena del mar". Sentido oscilatorio 10 seg. en Cd. de México, sentido Puebla, Tlaxcala y Veracruz con fuerza [1,2,3] h (15.80,96.70,-,7.9).
1872 0327	07:52	7 *	VIII	ga	Temblo del Miércoles Santo. Sentido oscilatorio y trepidatorio en la Cd. de Oaxaca, muy destructor en Pochutla. h(15.70,96.60,-,7.4) [1,2,3]
1874 1113	03:45	3 *	VII	7.3	Temblo de San Diego, Cd. de Oaxaca, oscilatorio de sur a norte, luego trepidatorio acompañado de fuerte ruido subterráneo. Orizaba, Córdoba y Tehuacán sentido trepidatorio, Jalapa (VIII). h(17.7,99.1,-,7.3) [1,3]
1882 0719	14:20	2 *	VII	ga	Cd. de Oaxaca, sentido trepidatorio y luego oscilatorio de sur a norte, duró 2 minutos, en Huajuapán de León (IX), Juxtlahuaca (IX). Sentido en gran parte del país. a(17.90,98.15,72.7,0). h(17.70,98.20,-,7.5) [3,1]. Ver texto.

CATALOGO SISMICO DE OAXACA (NUÑEZ-CORNU Y PONCE 1988)

FECHA	HORA	ZONA	INT(a)	MAG	DESCRIPCION
1894 1102	18:35	1	VI	mo	Cd. de Oaxaca, graves daños en Silacayoapan e Ixapantepec. <u>a(17.50.98.10.-.-)</u> , h(16.50.98.0,-7.4).
1897 0605	13:22	4	V	mo	Cd. de Oaxaca, sentido en el Istmo, daños en Juchitán (VIII), Tehuantepec (IX), Salina Cruz. a)(<u>16.4.95.16.S.7.4</u>) h(16.3.95.4,-7.4).
1902 0923	20:				Zanacatepec, Oaxaca. e(16.00.93.00,-8.3).
1903 0114	01:47				Costa de Chiapas. a(<u>16.70.92.68.-.-</u>), h,e(15.00.98.00,S,8.3)
1908 0326	23:				Guerrero. b(16.70.99.20,80,7.5), d,e(18.00.99.00,-8.1), h(16.70.99.20,80,8.1), k(18.00.99.00,80,7.8).
1911 0203	20:41:45				b(17.85.97.63,80,7.25). Fuera de la región (ver texto).
1911 0827	10:59:18	4	VI	mo	Sentido en el Istmo (VIII), <u>b(16.76.95.90.-6.7)</u> , d(17.00.96.00,100,6.75).
1914 0330	00:				Fuera de la región. b(16.76.92.15,-7.5), f(19.00.96.00,-7.5), k(17.00.92.00,150,7.5)
1916 0602	13:59:15	4		7.1	<u>b(17.40.94.85.100.7.1)</u> , k(17.50.95.00,150,7.1).
1917 1229	22:50:20	4		7.7	<u>a(15.56.94.91.-.-)</u> , e(15.00.97.00,s,7.7). No existen reportes de daños de este temblor, relocalizado usando los sismogramas de TAC. h(Ms=7.1)
1928 0210	04:38:32	3	VII	7.7	Cd. de Oaxaca, Tehuiztzingo, Cañada <u>a(18.02.-97.84.86.7.7)</u> , b(17.85.97.63 100,7.7) e(16.00.96.00,-7.5), c(18.26.97.99,86,7.7), j(18.20.97.50,-.-).
1928 0322	04:18	7	VI	7.7	Cd. de Oaxaca, trepidatorio en Juchitán, ruidos subterráneos en Tehuantepec, invasiones del mar en Pto. Angel, sentido fuerte en Villahermosa y oscilatorio en Tuxtla Gutiérrez. <u>a(15.67.96.10.-.-7.7)</u> , b(15.88,86.15,50,7.5), e(16.00.96.00,-7.5), h(16.23,96.45,-7.7)

CATALOGO SISMICO DE OAXACA (NUÑEZ-CORNU Y PONCE 1988)

FECHA	HORA	ZONA	INT(a)	MAG	DESCRIPCION
1928 0417	03:25:25	5	VIII	7.7	Sentido trepidatorio en la Cd. de Oaxaca, graves daños en Villa Alta, Oax. <u>a(17.29,96.55,124,7.7),</u> b(17.75,97.10,100,7.7), c(17.68,96.43,124,7.7), j(17.50,94.50,-,-).
1928 0617	03:20	7	VII	8.0	Cd. de Oaxaca. Produce tsunami con fuertes daños en Chacahua y Huatulco, graves daños en Pochutla, Pto. Angel, Pluma Hidalgo. b(16.21,97.11,50,7.5), d(16.25,98.00,-,7.8), e(16.30,98.00,-,7.9), g,h(16.31,96.70,-,8.0), j(16.20,97.20,-,-) k(15.50,97.00,-,8.0), <u>a(15.49,96.53,-,8.0),</u>
1928 0804	18:27:	8	VI	7.4	Sentido oscilatorio en la Cd. de Oaxaca, fuertes daños en Pinotepa Nacional (VIII), Jamiltepec (VIII), Juquila, hundimientos en la costa (Tututepec). b(16.36,97.80,-,7.30), k,d,e(16.06,97.00,-,7.4), j(16.20,97.20,-,-), g,h(16.31,97.66,-,7.4), <u>a(16.20,97.52,-,7.4)</u>
1928 1009	03:02:	8	VI	7.8	Sentido oscilatorio en la Cd. de Oaxaca. Putla (IX) destruída, Tetultepec (VIII) graves daños, Pinotepa Nacional (VII) menos que el de 1928 0804. <u>a(16.50,97.76,-,7.8),</u> b(16.36,97.8,-,7.4), d,e,(16.00,97.00,-,7.6), g,h(16.34,97.29,-,7.8), j(16.20,17.20,-,-).
1931 0115	01:51:	6	VIII-VII	8.0	Cd. de Oaxaca, daños en todo el Valle, Mihuatlán (IX-VIII) gravemente afectado. <u>a(16.34,96.87,s,8.0),</u> b(16.13,96.80,50,8.0), e)16.00,96.80,-,-), g,h(16.10,96.63,s,8.0), j(16.40,96.30,-,-), k,d(16.00,96.75,85,7.6).
1937 0726	03:47:04	3		7.6	<u>a(18.04,95.97,85,7.6),</u> b(18.82,97.47,80,7.7), c(18.49,96.03,85,7.6), e,k(18.40,95.80,100,7.3).
1937 1223	13:17:59	8		7.7	<u>a(16.78,98.13,-,7.7),</u> b(16.30,98.55,-,7.2), d,k(16.75,98.50,-,-), e(16.80,98.50,-,-), g,h(17.10,98.07,s,7.7).

CATALOGO SISMICO DE OAXACA (NUÑEZ-CORNU Y PONCE 1988)

FECHA	HORA	ZONA	INT(a)	MAG	DESCRIPCION
1938 0102	22:28:	1		6.5	<u>a(17.03.97.83.-6.5).</u> b(16.13.98.32,-,7.3), h(16.35.98.37,-,6.3). La Ms reportada por h es menor que la del evento 1937 1225 (puede ser considerado (réplica de 1937 1223, (doblete?)).
1945 1011	16:52:56	3		6.5	<u>a(17.80.97.74.89.6.5).</u> c(18.32.97.65.86,6.5), d(17.50.98.50,-,-).
1948 0106	17:			5.0	Dos eventos con cuatro minutos de diferencia. <u>a(16.69.98.80.-5.0).</u> <u>a(16.51.98.70.-5.0).</u> k,e(17.00.98.00.80,7.0).
1950 1214	14:13:32	8		7.3	<u>a(16.81.98.62.16.7.3).</u> b(16.48.98.17.50,7.5), f(16.54.98.42,-,6.8), g,h(17.22.98.12,s,7.3).
1959 0524	19:17:37	1		6.8	<u>a(17.31.97.99.79.6.8).</u> b(17.75.97.10,100,6.8), c(17.71.97.14,79,6.8) j(17.60.97.20,63,7.0).
1965 0823	19:46:01	7	VII	7.8	Cd. de Oaxaca, Pochutla (VIII) <u>m(16.23.96.02.16.7.8).</u> b(15.38.26.12,-,6.9), g,h(16.30.95.80,16,7.8).
1968 0802	14:06:41	8	VII-VI	7.4	Muy destructor en Pinotepa Nacional. <u>m(16.27.98.01.16.7.4).</u> b(16.36.97.80,-,6.6), h(16.60.97.70,40,7.4).
1973 0828	09:50:40	3	VII	6.8	Sentido trepidatorio en la Cd. de Oaxaca, Orizaba, Tehuacán, Córdoba (VIII). Cd. de México, Puebla y Veracruz. <u>a(18.03.96.64.92.6.8).</u> b(18.27.96.60,80,6.8), c(18.30.96.53,84,6.8), k(18.30.96.60,75,7.3).
1978 1129	19:51:47	7	VII	7.8	Cd. de Oaxaca. <u>m(16.02.96.68.18.7.8).</u>
1980 1024	14:53:32	2	VI	7.0	Cd. de Oaxaca, Huajuapán de León (IX-VIII), Tamazulapán (VIII), Ixtlahuaca (VIII), <u>p(17.90.98.15.72.7.0).</u> c(18.03.98.27,65,7.0).
1982 0607	10:59:38	8	VI	7.0	Cd. de Oaxaca, Ometepec, Gro. (VIII). <u>a(16.37.98.43.31.7.0).</u>
1982 0607	14:53:32	8	V	6.9	Cd. de Oaxaca, Ometepec, Gro. (VII). <u>a(16.35.98.34.34.6.9).</u>

BIBLIOGRAFIA

- ABE, K., 1981. Magnitude of large shallow earthquakes from 1904 to 1980. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 27, 72-92.
- ASTIZ, L. and H. KANAMORI, 1984. An earthquake doublet in Ometepec, Guerrero, México. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 34, 24-45.
- BARRERA, T., 1931. El temblor del 14 de enero de 1931. Memorias del Instituto de Geología, UNAM, 39 pp.
- BELLON, H., R. MAURY and J. F. STEPHAN, 1982. Dioritic basement of site 493(LEG 66): Petrology, geochemistry and oligocene age, geodynamic significance. In: J. S. Watkins, J. C. Moore and others. Initial Reports of the DSDP, v. 66, U. S. Government Printing Office. pp. 723-730.
- BEVIS, M. and B. L. ISACKS, 1984. Hipocentral trend surface analysis: Probing the geometry of the Benioff zones. *J. Geophys. Res.*, 89, B7, 6153-6170.
- BURBACH, G. V., C. FROHLICH, W. D. PENNINGTON and T. MATUMOTO, 1984. Seismicity and tectonics of the subducted Cocos plate. *J. Geophys. Res.*, 87, B1, 7719-7735.
- CAVO, A., 1852. Los Tres Siglos de México durante el Gobierno Español. Edit. J. R. Navarro. México. 310 pp.
- COMTE, D., A. EISEMBERG, E. LORCA, M. PARDO, L. PONCE, R. SARAGONI, S. K. SINGH and G. SUAREZ, 1986. The 1985 central Chile earthquake: A repeat of previous great earthquakes in the region? *Science*, 233, 449-453.
- CHAEI, E. P. and G. S. STEWART, 1982. Recent large earthquakes along the Middle American Trench and their implications for the subduction process. *J. Geophys. Res.*, 87, B1, 329-338.
- CRUZ, G. and M. WYSS, 1983. Large earthquakes, mean sea level and tsunamis along the Pacific coast of Mexico and Central America. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 73, 553-570.
- DOMINGUEZ, T., 1983. Estudio del temblor de Tehuantepec del 22 de junio de 1979 ($m_b = 6.2$, $H = 113$ km) mediante el modelado de ondas de cuerpo. Tesis Profesional, Fac. de Ingeniería, UNAM, 40 pp.
- DUDA, S. J., 1965. Secular seismic energy release in circum-Pacific belt. *Tectonophysics*, 2, 409-452.
- FIGUEROA, J., 1975. Sismicidad en Oaxaca. Publicación 360. Inst. de Ingeniería, UNAM, 68 pp.
- GAY, J. A., 1881. Historia de Oaxaca. Tomos I y II (2a. Edición, 1933). Gob. del Edo. de Oaxaca. 783 pp.

- GONZALEZ-RUIZ, J., 1986. Earthquake source mechanics and tectonophysics of the Middle America subduction zone in Mexico. Ph. D. Dissertation, Univ. of Cal. Sta. Cruz. 91 pp.
- GUTENBERG, B. and Ch. RICHTER, 1954. The seismicity of the earth and associated phenomena. Princeton Univ. Press. 310 pp.
- HIDA, K., D. C. COX and G. PARARAS-CARAYANNIS, 1967. Preliminary catalog of Tsunamis occurring in the Pacific ocean. Data report No. 5 (HIG-67-10), Hawaii Institute of Geophysics, University of Hawaii.
- JIMENEZ, Z., 1977. Mecanismo focal de siete temblores ($m_b > 6.5$) ocurridos en la región de Orizaba, México, en el período de 1928 a 1973. Tesis Profesional, Fac. de Ciencias, UNAM. 110 pp.
- JIMENEZ, Z. and L. PONCE, 1979. Focal mechanism of six large earthquakes in northern Oaxaca, for the period 1928-1973. *Geofis. Int.* Special Issue on Oaxaca Earthquake, November 29, 1978. 17, 3, 379-386.
- JIMENEZ, C., F. NUÑEZ-CORNU, H. MERCADO y J. CANAS, 1983. Estudio de las réplicas del temblor del 7 de junio de 1982 en la costa de Guerrero-Oaxaca. Memorias de la Reunión de la UGM, Mayo 1983. pp. 13, 14.
- KARIG, D. E., R. K. CARDWELL, G. F. MOORE and D. G. MOORE, 1978. Late cenozoic subduction and continental margin truncation along the northern Middle America Trench. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 89, 265-276.
- KELLEHER, J., L. R. SYKES and J. OLIVER, 1973. Possible criteria for predicting earthquake locations and their application to major plate boundaries in the Pacific and Caribbean. *J. Geophys. Res.*, 78, 2547-2585.
- LeFEVRE, L. and K. McNALLY, 1985. Stress distribution of aseismic ridges in the Middle America subduction zone. *J. Geophys. Res.*, 90, 4495-4510.
- LOMNITZ, C., 1974. Global tectonics and earthquake risk. Developments in Geotectonics, No. 5, Elsevier, Amsterdam. 320 pp.
- MARTINEZ GRACIDA, M., 1886. Terremotos en Oaxaca. Manuscrito Inédito. Casa de la Cultura, Oaxaca, Oax., 70 pp.
- McMILLEN, K. J. and S. B. BACHMAN, 1982. Bathymetric and tectonic evolution of the southern Mexico active margin, DSDP Leg 66. Initial Reports of the D.S.D.P., v. 66. Washington, D. C., U. S. Government Printing Office. pp. 815-822.
- Mc NALLY, K. C. and J. B. MINSTER, 1981. Nonuniform seismic slip rates along the Middle America Trench. *J. Geophys. Res.*, 86, B6, 4949-4959.
- MINSTER, J. B. and T. H. JORDAN, 1978. Present-day plate motions. *J. Geophys. Res.*, 83, 5331-5354.

- MIYAMURA, S., 1976. Provisional magnitudes of Middle American earthquakes not listed in the magnitude catalogue of Gutenberg-Richter. *Bull. I. I. S. E. E.*, 14, 41-46.
- MOTA, R., J. YAMAMOTO, Z. JIMENEZ, C. JIMENEZ, L. GONZALEZ and F. NUÑEZ-CORNU, 1981. Preliminary report on October 24, 1980, Huajuapán de León, Oaxaca, México, Earthquake. Abstracts of 21st General Assembly. IASPEI, London, Canada.
- MUÑOZ-LUMBIER, M., 1928. Megasismos recientes en Puebla y Oaxaca. Folletos de Divulgación, Núm. 36, Instituto de Geología, UNAM.
- NAVA, E., 1984. Estudio de los temblores de Ometepec del 7 de junio de 1982 y sus réplicas. Tesis Prof., Fac. Ing., UNAM, 34 pp.
- NAVA, F., F. NUÑEZ-CORNU, D. CORDOBA, M. MENA, J. ANSORGE, J. GONZALEZ, M. RODRIGUEZ, E. BANDA, S. MUELLER, A. UDIAS, M. GARCIA-GARCIA and G. CALDERON (Reporters), 1988. Structure of the Middle America Trench in Oaxaca, Mexico. *Tectonophysics*, 154, 241-251.
- NAVA, F. A., V. TOLEDO and C. LOMNITZ, 1985. Plate waves and the 1980 Huajuapán de León, Mexico, Earthquake. *Tectonophysics*, 112, 463-492.
- NISHENKO, S. P. and S. K. SINGH, 1987a. Relocation of the Great Mexican Earthquake of 14 January 1903. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 77, 256-259.
- NISHENKO, S. P. and S. K. SINGH, 1987b. Conditional probabilities for the recurrence of large and great earthquakes along the Mexican subduction zone. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 77, 2095-2114.
- NIXON, G. T., 1982. The relationship between quaternary volcanism in Central Mexico and the seismicity and structure of subducted ocean lithosphere. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 93, 514-523.
- NUÑEZ-CORNU, F., 1980. Sismicidad ($M_L \geq 3$) en la región del temblor de Oaxaca (29 de noviembre de 1978, $M_s = 7.8$): observaciones del 20 de enero al 15 de abril de 1979. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, 50 pp.
- NUÑEZ-CORNU, F., 1983. Sismotectónica del estado de Oaxaca, México, basada en el análisis de temblores fuertes ($M_s > 7.0$). Tesis de Maestría, Fac. de Ciencias, UNAM, 71 pp.
- NUÑEZ-CORNU, F. y L. PONCE, 1984. Oaxaca: una región sísmica compleja. Reporte interno, Instituto de Geofísica, UNAM, 60 pp.
- NUÑEZ-CORNU, F., 1987. Análisis digital de datos de sísmica de gran ángulo. Aplicación a zonas de convergencia océano-continente. Tesis Doctoral, Fac. Ciencias Físicas. Univ. Complutense, Madrid, España. 180 pp.

- OROZCO Y BERRA, J., 1887-1888. Efemérides sísmicas mexicanas. Mem. Soc. Cient. "Antonio Alzate". México, 1, 303-537.
- OROZCO Y BERRA, J., 1888. Adiciones y rectificaciones a las efemérides sísmicas mexicanas. Mem. Soc. Cient. "Antonio Alzate". México. 2, 261-288.
- ORTEGA-GUTIERREZ, F., 1981. Metamorphic belts on Southern Mexico and their tectonic significance. *Geofís. Int.*, Special Volume on palaeomagnetism and tectonics of Middle America and adjacent regions - Part 1, 20, 3, 177-202.
- ORTEGA-GUTIERREZ, F., 1988. North American Ocean-Continent Transect: Corridor H-3 from the Acapulco Trench to the Gulf of Mexico across Southern Mexico. R. C. Speed (ed.). North America Ocean-Continent Transect Program. A Decade of North America Geology S. P. (in press).
- PONCE, L., K. C. McNALLY, J. GONZALEZ, A. DEL CASTILLO and E. CHAEL, 1979a. The 29 November 1978, Oaxaca Earthquake: foreshock activity. *Geofís. Int.* Special Issue on Oaxaca earthquake, November 29, 1978, 17, 3, 267-280.
- PONCE, L., F. NUÑEZ-CORNU y V. SUMIN DE PORTILLA, 1979b. El temblor de Oaxaca del 29 de Noviembre de 1978: correlación entre sismicidad, fallas activas y destrucción en la zona epicentral. Memorias del V. Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Guadalajara, Jal., México, 12 pp.
- PROZOROV, A. G. and F. SABINA, 1984. Study of the properties of seismicity in the Mexico region. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 76, 317-336.
- QUINTANAR, L., 1985. Variaciones espacio-temporales de la sismicidad en la región costera de Oaxaca de 1950 a 1982 ($m_b > 4.3$). Tesis de Maestría, Fac. de Ciencias, UNAM, 46 pp.
- RASCON, O. y A. G. VILLARREAL, 1975. On a stochastic model to estimate tsunamis risk. *J. Hydraulic Res.*, 13, 383-403.
- ROJAS, T., J. PEREZ y V. GARCIA, 1987. "Y volvió a temblar" - Cronología de los Sismos en México (De 1 Pedernal a 1821). Cuadernos de la Casa Chata, 135 C.I.E.S.A.S., SEP, México. 209 pp.
- SANCHEZ, E., 1983. Metodología y cálculos numéricos para el procesamiento de datos históricos relativos a la sismicidad en México. Tesis Profesional, Fac. de Ciencias, UNAM, 187 pp.
- SHUBERT, D. H. and S. E. CEBULL, 1984. Tectonic interpretation of the Trans-Mexican volcanic belt. *Tectonophysics*, 101, pp. 159-165.
- SINGH, S. K. and M. WYSS, 1976. Source parameters of the Orizaba earthquake of August 28, 1973. *Geofís. Int.*, 16, 3, 165-184.

- SINGH, S. K., J. HASKOV, K. C. McNALLY, L. PONCE, T. HEARN and M. VASILIOU, 1980. The Oaxaca, Mexico, earthquake of 29 November, 1978: A preliminary report on aftershocks. *Science*, 207, 1211-1213.
- SINGH, S. K., L. ASTIZ and J. HASKOV, 1981. Seismic gaps and recurrence periods of large earthquakes along the Mexican subduction zone: a reexamination. *Bull. Seis. Soc. Am.* 71, 827-843.
- SINGH, S. K., M. RODRIGUEZ and J. M. ESPINDOLA, 1984. A catalogue of shallow earthquakes of Mexico from 1900 to 1981. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 74, 267-279.
- SINGH, S. K., G. SUAREZ and T. DOMINGUEZ, 1985. The Oaxaca, México earthquake of 1931: lithospheric normal faulting in the subducted Cocos plate. *Nature*, 317, 56-58.
- SUMIN DE PORTILLA, V., L. PONCE, K. C. McNALLY, N. T. KOCHNEVA and S. RODRIGUEZ, 1979. Morphostructural analysis of Oaxaca, México, applied to seismic studies. *Geofís. Int.*, Special Issue on Oaxaca earthquake, November 29, 1978, 17, 3, 367-378.
- YAMAMOTO, J., Z. JIMENEZ and R. MOTA, 1984. El temblor de Huajuapán de León, Oaxaca, México, del 24 de Noviembre de 1980. *Geofís. Int.*, 23, 1, 83-110.

Boletines del Servicio Sismológico Nacional.

Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, 1860.

Boletines del Instituto Geológico Nacional, Nos. 18, 36, 38.

Memorias de la Sociedad Científica "Antonio Alzate".

Parergones del Instituto Geológico Nacional, Tomo I, 5; Tomo II, 4, 5, 6, 10; Tomo III, 8, 10; Tomo IV, 1; Tomo V, 1, 2, 3, 6, 7, 8.

Periódicos:

Excelsior, 1917, 1928, 1931.

El Diario del Hogar, 1882, 1897, 1903.

El Heraldo Mexicano, 1911.

El Imparcial, 1897, 1911.

El Siglo Diez y Nueve, 1854.

El Tiempo, 1882, 1894, 1911.

El Universal, 1854, 1894, 1903, 1917, 1928, 1931.

La Patria, 1894.