

AGENTES PERTURBADORES DE ORIGEN GEOLOGICO

Los riesgos tipificados como de origen geológico básicamente incluyen los siguientes fenómenos destructivos o calamidades: sismos, vulcanismo, deslizamiento y colapso de suelos, hundimiento y agrietamiento, y algunas de las consecuencias de los sismos y erupciones volcánicas importantes tales como los maremotos (*tsunamis*) y lahares, entre otros. De todos estos, la sismicidad y el vulcanismo adquieren en el país particular importancia, ya que su área de influencia abarca casi la totalidad del territorio nacional.

La investigación científica ha logrado pronosticar a largo plazo algunos de estos fenómenos. La teoría de brechas sísmicas (**gaps**), permite identificar las zonas de mayor riesgo, donde puede ocurrir un terremoto de gran magnitud; sin embargo, aún no es posible predecir el momento de su ocurrencia.

Por lo que respecta a las erupciones volcánicas, éstas son precedidas por diversos eventos, y si se cuenta con la instrumentación adecuada de monitoreo, puede lograrse un pronóstico efectivo de utilidad para tomar medidas de protección civil.

En este capítulo se describen, principalmente, dos tipos de calamidades: sismicidad y vulcanismo.

SISMICIDAD

DESCRIPCION DEL FENOMENO

EL FENOMENO SISMICO Y LAS FALLAS GEOLOGICAS

Lo que usualmente experimentamos como un sismo o temblor, es la propagación de ondas a través de las rocas que constituyen nuestro planeta. Esta propagación es posible porque la Tierra se comporta como un cuerpo elástico.

Desde el punto de vista del riesgo sísmico, nos interesan los grandes terremotos que ocurren naturalmente en zonas bien definidas de nuestro planeta.

Actualmente sabemos que dichos terremotos ocurren por el rompimiento abrupto de las rocas como consecuencia de las fuerzas de tensión o compresión a que están sujetas. Estos rompimientos ocurren a lo largo de superficies, en las cuales las rocas se deslizan unas con respecto a otras. Tales superficies se conocen como fallas geológicas.

La razón por la que se presentan esas fuerzas de tensión o compresión es debida a que el cascarón más externo de nuestro planeta, la litosfera, formada por la capa rocosa rígida más superficial de la Tierra, esta fragmentada en un mosaico irregular de placas rígidas y móviles

llamadas tectónicas, a manera de casquetes, que pueden contener tanto porciones continentales como porciones de corteza del fondo oceánico. Estas placas se mueven, una con respecto a la otra a lo largo de grandes zonas de fractura, y es ahí donde se originan generalmente los más grandes terremotos.

La sismicidad en el territorio nacional se debe principalmente a la actividad de las placas tectónicas y fallas geológicas que lo cruzan y circundan. La República Mexicana se encuentra ubicada en una de las zonas de más alta sismicidad en el mundo; esto se debe a que su territorio está localizado en una región donde interactúan cinco importantes placas tectónicas: Cocos, Pacífico, Norteamérica, Caribe y Rivera (**figura 1**).

Entre las placas del Pacífico y de Norteamérica se produce un fenómeno de deslizamiento lateral de sus fronteras, el que acumula gradualmente energía elástica, y cuando dicha energía rebasa la resistencia de las rocas, se produce un sismo. Por otro lado, entre las placas de Norteamérica y la de Cocos se da un fenómeno de choque o subducción, en el cual la Placa de Cocos se desliza por debajo de la de Norteamérica. Este tipo de movimiento produce esfuerzos en las rocas de ambas placas, con la subsecuente ruptura y descarga súbita de energía en forma de sismos (**figura 2**).

El territorio nacional se ve afectado por fallas continentales, regionales y locales. Dentro de las fallas continentales se consideran la de San Andrés, que marca la frontera entre las placas de Norteamérica y del Pacífico, en el extremo noroeste del país; la Trinchera Mesoamericana, que separa a las placas de Norteamérica y de Cocos, frente a las costas del Pacífico, desde Nayarit hasta Chiapas, y la de Motagua Polochic, que marca el desplazamiento entre las placas del Caribe y de Norteamérica (**figura 1**).

Existe también un gran número de fallas regionales y locales de diversas longitudes, distribuidas en todo el territorio nacional, con distintos grados de actividad sísmica. Entre éstas pueden mencionarse, el sistema de fallas en el área de Acambay, en el centro del país, y en el sur de la República, el sistema de fallas de Ocosingo en Chiapas.

En todos estos tipos de fracturas o fallas entre placas e intraplacas se presenta un importante número de eventos sísmicos. La **figura 3** muestra los epicentros que el Servicio Sismológico Nacional ha localizado en la República Mexicana, de 1974 a 1989, donde se observa que están concentrados en regiones definidas.

Parámetros sísmicos

Los sismos se manifiestan como movimientos ondulatorios violentos del suelo, que se propagan en sentido horizontal y vertical. Se originan en un foco o hipocentro, en el interior de la corteza terrestre o en puntos aún más profundos, cuya proyección sobre la superficie terrestre se denomina epicentro o epifoco.

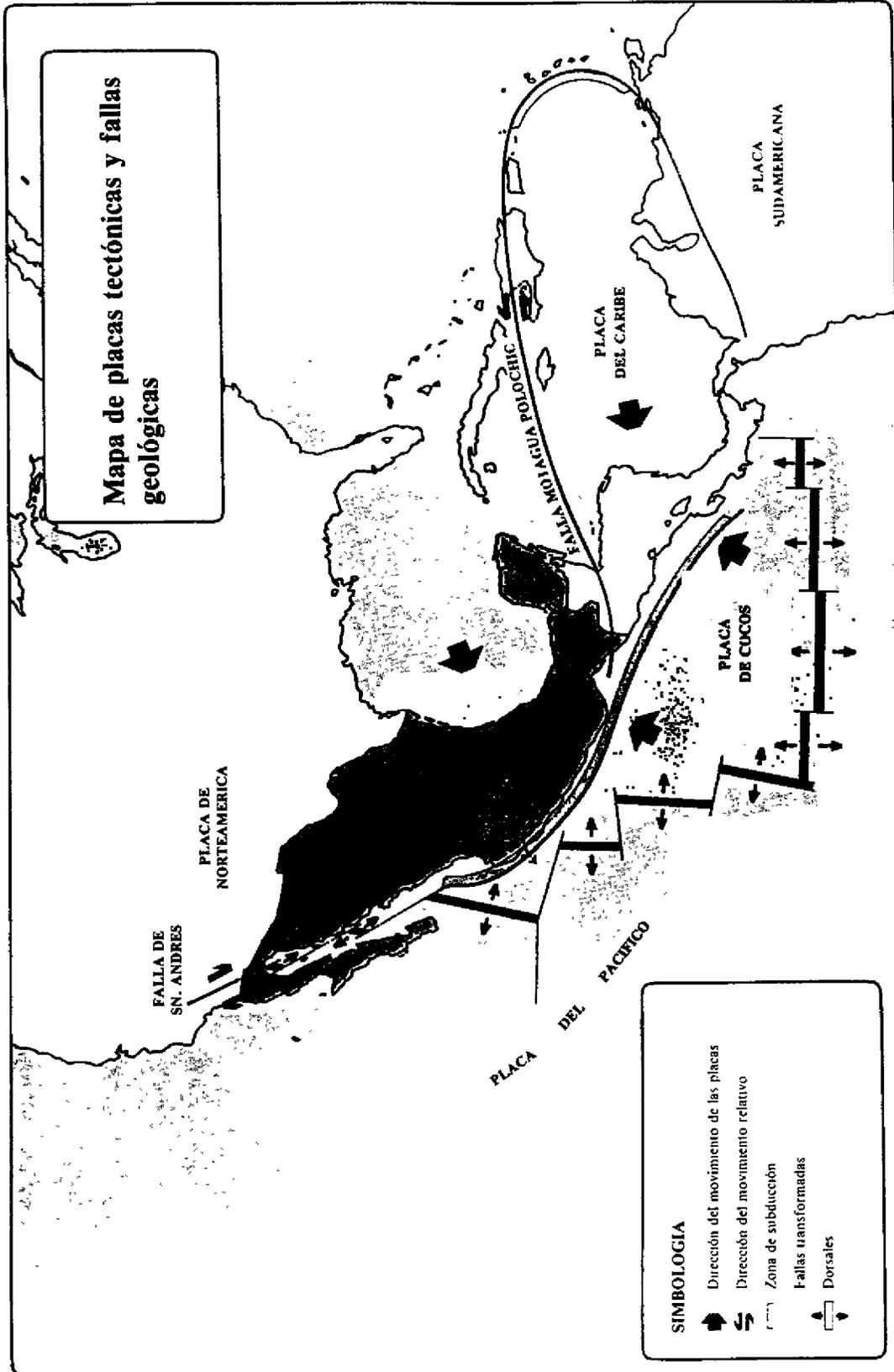


Figura 1

Fuente: Instituto de Geofísica de la UNAM

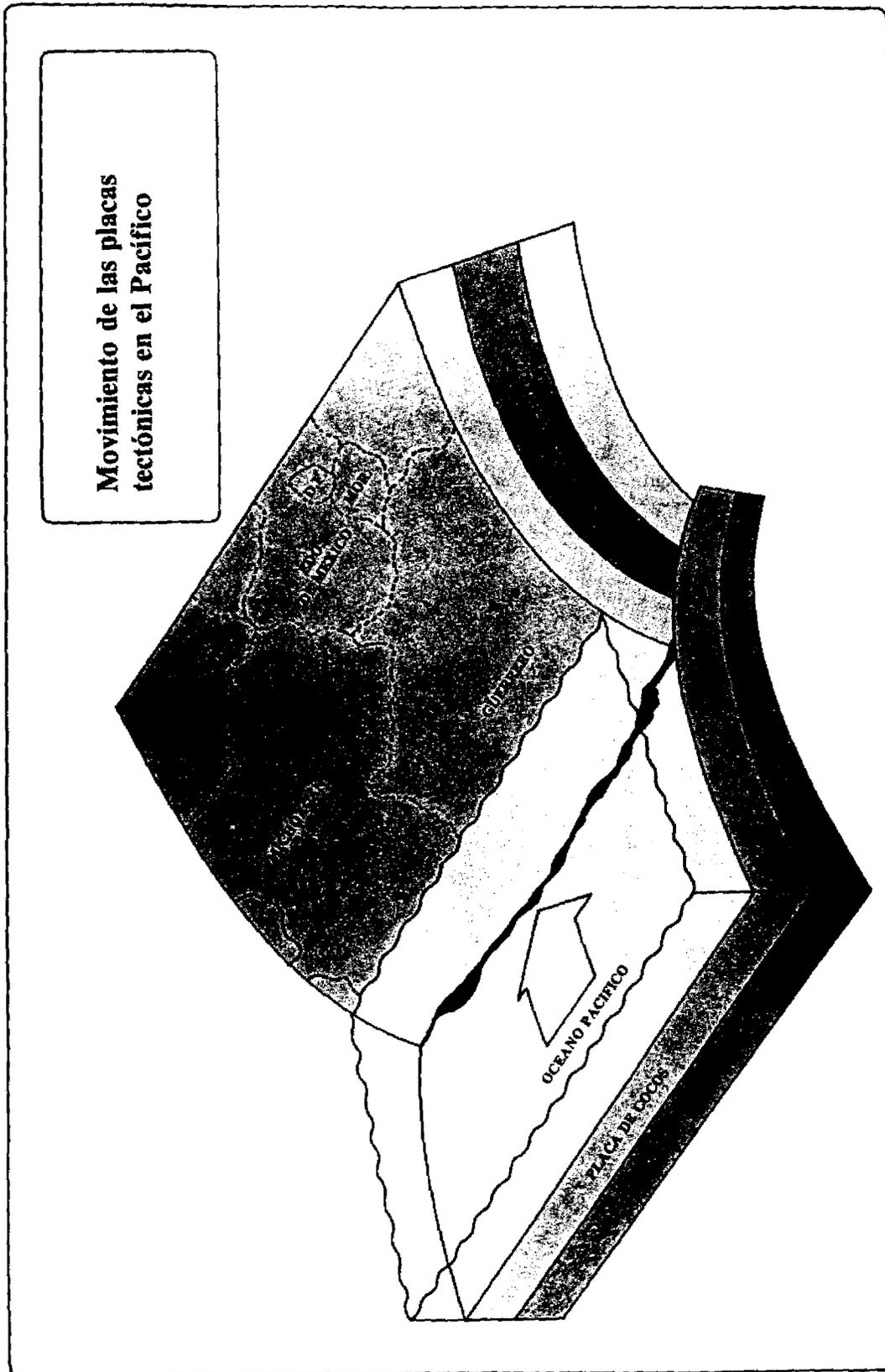


Figura 2

Fuente: Instituto Mexicano de Administración Urbana

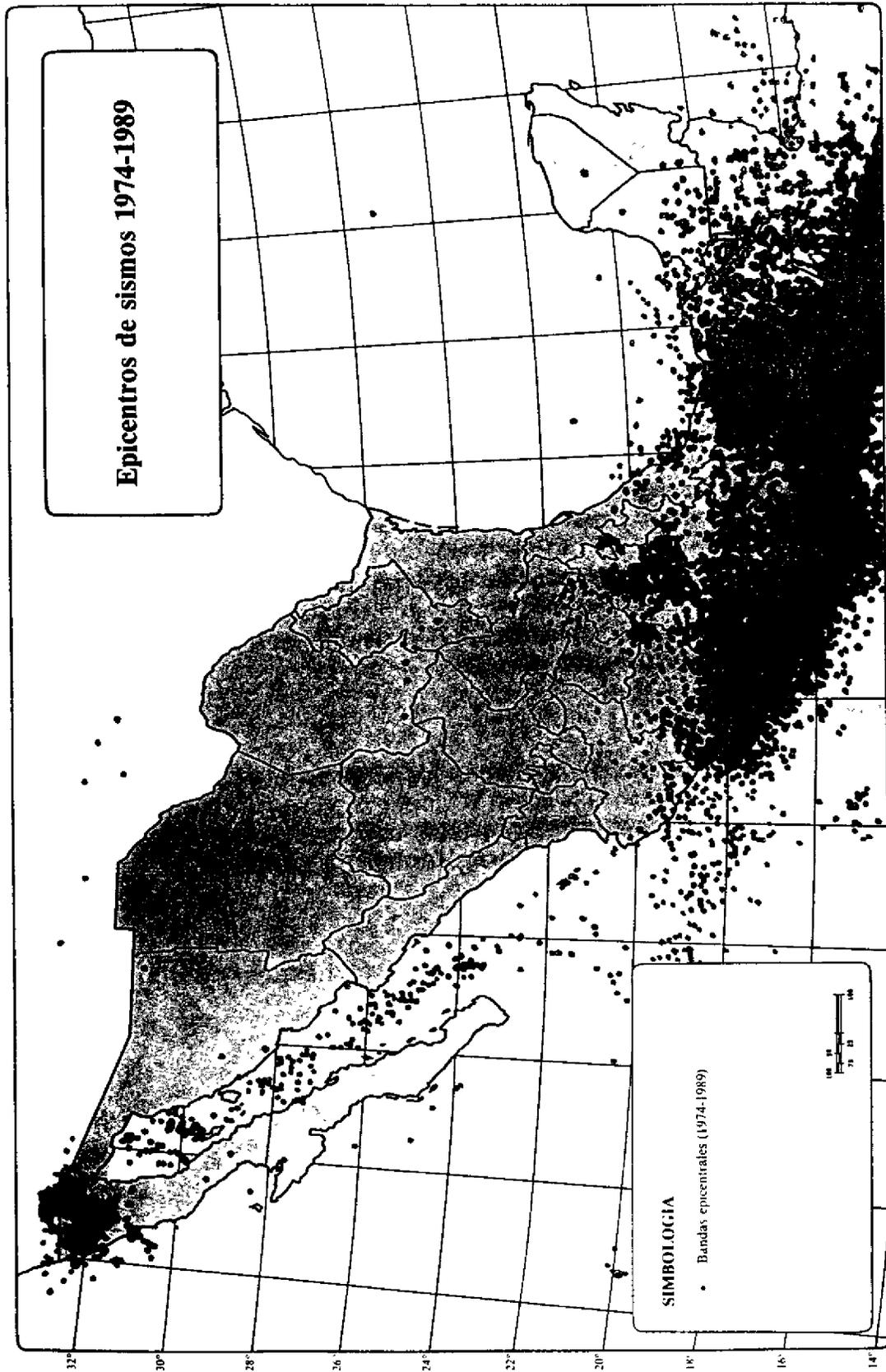


Figura 3

Fuente: Instituto de Geofísica de la UNAM

El foco marca el punto en que se inicia el proceso de ruptura. Conforme se desarrolla la ruptura de la falla, la región focal puede extenderse sobre un área considerable. De la superficie de ruptura irradian ondas longitudinales y transversales, que se desplazan en la corteza a velocidades que varían entre 3 y 6 km/s. Existen otros tipos de ondas que viajan sobre la superficie de la Tierra (**figura 4**).

Destructividad

La destructividad de un sismo se determina fundamentalmente por la magnitud y naturaleza del proceso de ruptura, la distancia del epicentro a las áreas urbanas, la profundidad del foco, la respuesta local del suelo, la densidad de población y el tipo de construcción.

Magnitud

La magnitud describe la medida del tamaño de los sismos y se basa en la comparación de estos con un sismo patrón. La escala de Richter mide este tamaño en forma logarítmica, en la que cada grado representa aproximadamente 31.6 veces más energía que la liberada por el sismo del grado anterior. Esto significa que un sismo de una magnitud determinada, por ejemplo 6.0, libera casi 32 veces más que uno de 5.0 y cerca de mil veces más que uno de 4.0.

Proceso de ruptura

Las características de las ondas sísmicas que se originan en una superficie de ruptura o fallamiento, depende de la forma en que ésta ocurre, es decir, de características tales como el desplazamiento entre bloques y la velocidad en que se propaga la ruptura.

Distancia focal

Es aquella que va desde el foco del sismo hasta el punto de observación de las ondas.

Profundidad focal

Es la distancia vertical que hay entre el lugar donde se origina la ruptura (foco) y la superficie (epicentro).

Respuesta local del suelo

La severidad de un sismo puede ser aumentada por la respuesta local del suelo. Esta se determina por el tipo y consistencia del terreno por donde se desplazan las ondas sísmicas, oponiendo mayor o menor resistencia. Entre más sólido sea el suelo, menores serán los efectos sísmicos.

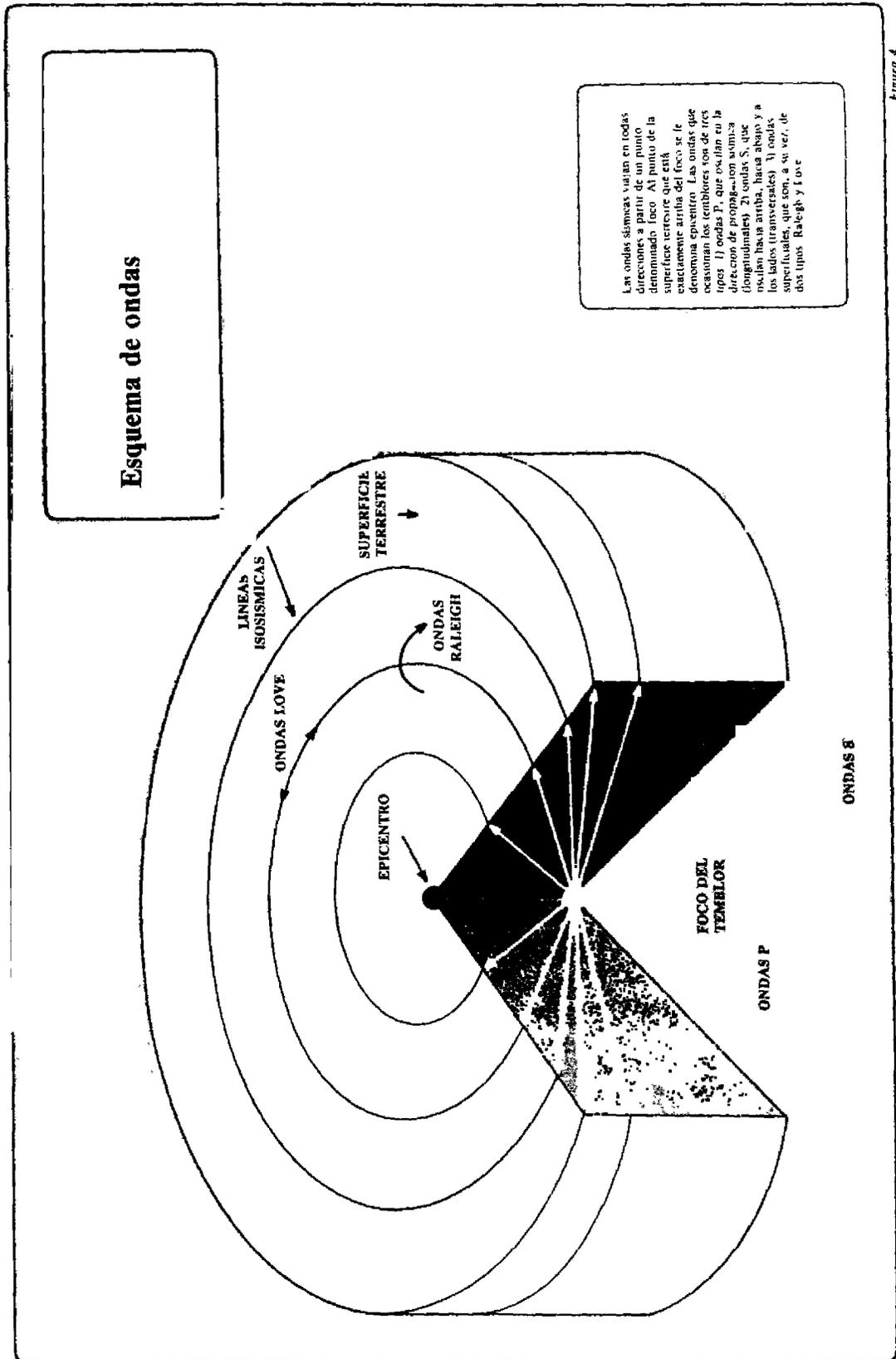


Figura 4

Fuente: Tomada de *Informacion Científica y Tecnológica*, número especial, noviembre de 1985

Densidad de población

La densidad de población es sin duda un factor determinante en el grado de destructividad de un sismo, así, a mayor población, podrá haber un número más considerable de víctimas.

Tipo de construcción

La respuesta de una construcción a las ondas sísmicas depende de su calidad, sin embargo, existen otros factores que son inherentes a la construcción misma. Todo tipo de estructura posee un periodo natural de vibración; es decir, realiza oscilaciones naturales que tienen periodos que dependen de la masa, la posición del centro de gravedad y otras características geométricas de la estructura. En el caso de edificios, se encuentra que su periodo natural de vibración aumenta con su altura. Cuando una estructura o edificio es puesto en vibración por efecto de las ondas sísmicas, la amplitud de tal oscilación será mayor si el periodo de las ondas sísmicas es cercano al periodo natural de vibración del edificio. Si la amplitud de oscilación es mayor que la que éste puede soportar, se colapsa o falla.

Intensidad

Se define como la medida del poder destructor local de un temblor (severidad). El sismólogo italiano Giuseppe Mercalli implantó este sistema de medición mediante una escala de doce niveles, y su criterio se basa en la apreciación personal de los efectos producidos por el fenómeno sísmico en la superficie. Por ejemplo, el nivel I representa un movimiento sísmico imperceptible para la mayoría de las personas y únicamente percibido por los sismógrafos; en tanto al nivel XII, corresponde la destrucción casi total de la construcción humana, grandes desplazamientos de tierra, proyecciones de objetos a mucha altura, formación de grandes fallas y notables deformaciones en la topografía de las zonas afectadas.

Efectos de los sismos

La vulnerabilidad ante un sismo se ve reflejada en los principales componentes del sistema afectable, tales como:

Vidas humanas: cuyas pérdidas son ocasionadas por derrumbes de construcciones, incendios y explosiones, entre otros.

Viviendas y edificios: la cimentación se desestabiliza y los elementos estructurales sufren fuerzas de corte y de tensión que causan agrietamientos e inclusive el derrumbe total de la estructura.

Presas hidráulicas: se afectan el piso, la cimentación y la estructura, ocasionando filtraciones en el vaso y en la cortina, que reducen, en mayor o menor medida, su eficiencia de almacenamiento; las filtraciones también pueden provocar el derrumbe de la presa.

Servicios públicos: se afectan las redes o líneas vitales de agua potable, energía eléctrica, transporte y comunicaciones, trayendo como consecuencia la interrupción de los servicios y produciendo efectos secundarios, tales como incendios y paro de las actividades económicas e industriales.

UBICACION GEOGRAFICA

Algunos investigadores han determinado regiones de México que presentan cierta periodicidad en la ocurrencia de los sismos fuertes, siendo su lapso, en algunos casos, de 32 a 56 años. A las zonas en las que no ha ocurrido un sismo fuerte durante varios años, aunque hayan ocurrido en el pasado, se les conoce como *gaps* o brechas sísmicas.

Las brechas en las que ya se está cumpliendo el periodo de recurrencia, son zonas de alto potencial sísmico. La costa de Guerrero, por ejemplo, es una de esas regiones; por lo menos desde 1909 no se presenta un sismo significativo en la costa grande del estado. La energía acumulada desde esa fecha, tendrá que liberarse en un futuro sismo de magnitud importante. La **figura 5** muestra las regiones de más alto potencial sísmico del país.

Por otra parte, el riesgo sísmico en un lugar dado, depende tanto de la proximidad a una zona de alto potencial sísmico, como de las características geológicas del sitio en cuestión. Así, en la Ciudad de México, dadas las características de su subsuelo, el riesgo sísmico es mayor que en otros lugares. En la **figura 6** se observa la distribución de intensidades máximas sentidas en el territorio nacional.

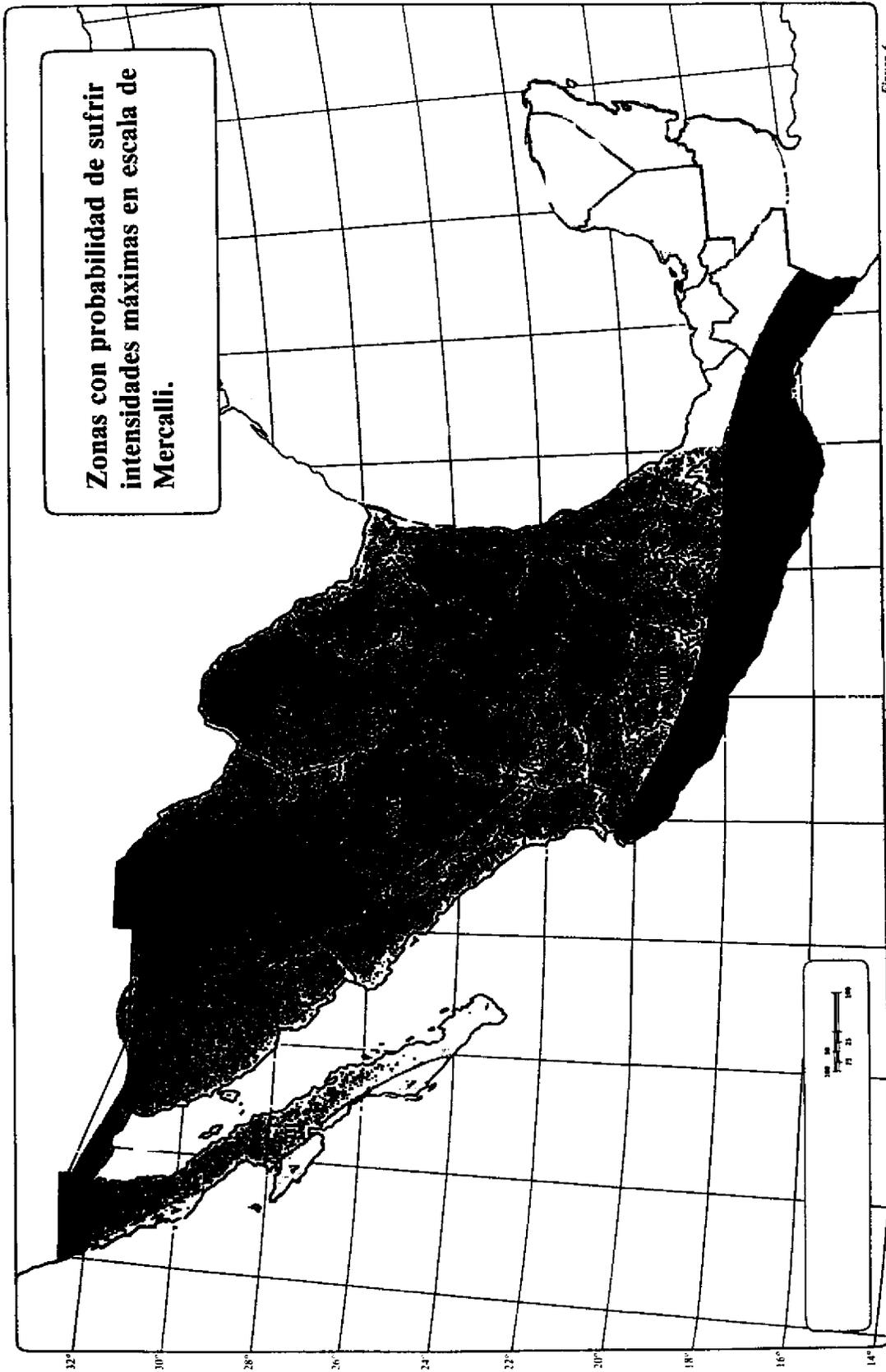
AFECTABILIDAD

Las zonas afectadas por sismos en el país, comprenden completamente el territorio de 11 entidades federativas y parte del territorio de otras 14, abarcando más del 50% del total nacional (**cuadro 01**).

En la **figura 7** se muestran los epicentros de los sismos de magnitud mayor de 7° Richter que han ocurrido en el país durante el periodo de 1900 a 1989. En el **cuadro 02** se aprecia la relación de algunos sismos destructivos ocurridos durante el siglo xx.

Maremoto o *Tsunami*

Este fenómeno es consecuencia de erupciones volcánicas o terremotos en el mar, los cuales provocan una serie de ondas que se propagan en todas direcciones en forma concéntrica, dando origen al conjunto de olas denominadas *tsunamis*. La altura y amplitud de la ola es el factor de destructividad de un tsunami, ya que puede elevarse a más de 35 metros, por lo que en las zonas costeras se convierte en una amenaza para la vida y los bienes.



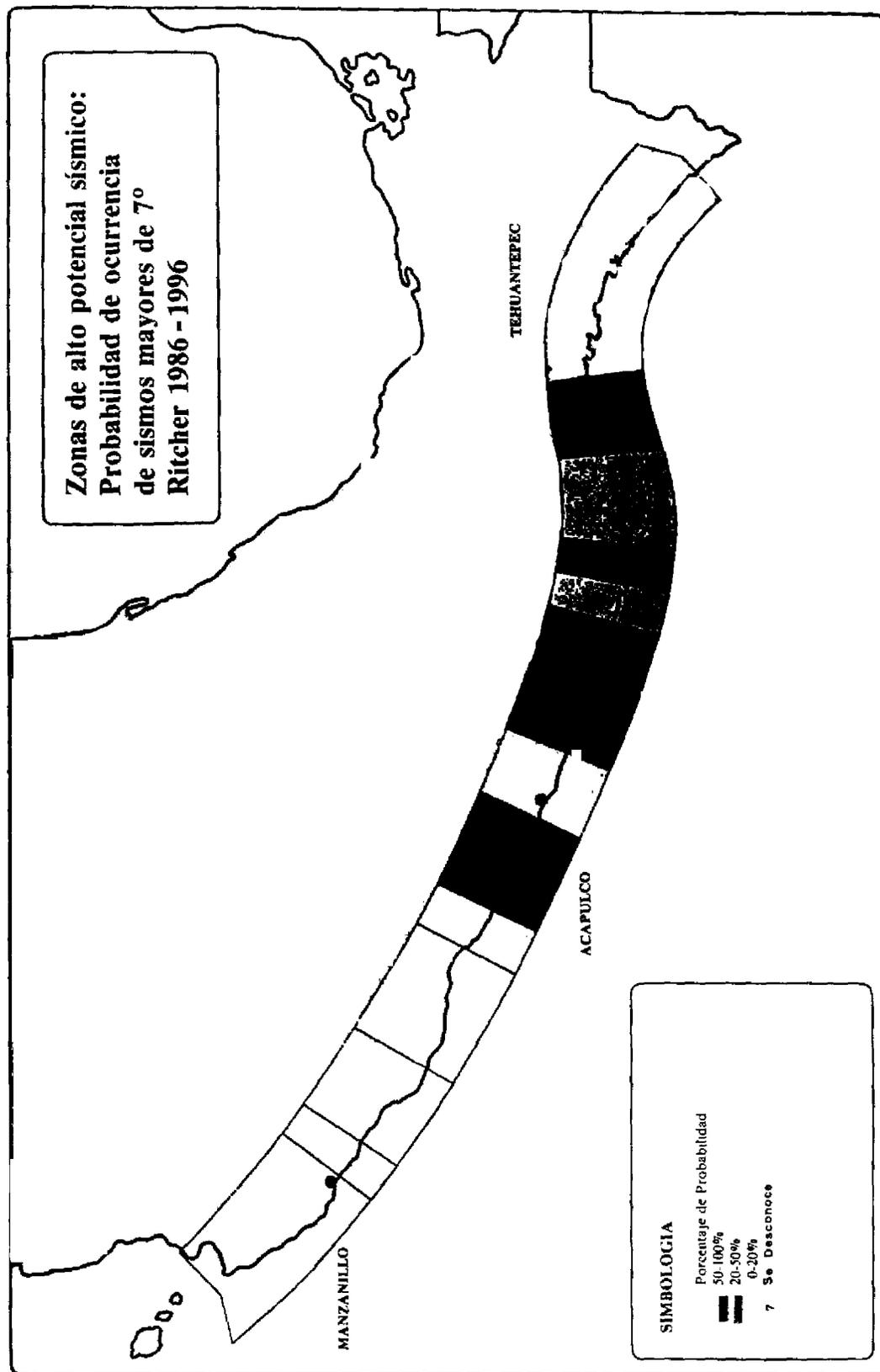


Figura 5

Fuente: Instituto de Geofísica de la UNAM

POBLACION ASENTADA EN ZONAS SISMICAS DEL PAIS HASTA 1987

ENTIDAD	POBLACION*			MUNICIPIOS		
	TOTAL DEL EDO. ¹	ZONAS DE INFLUENCIA ²	% ^{1,2}	TOTAL EN EL EDO. ³	SUJETOS A RIESGO ⁴	% ^{3,4}
AGUASCALIENTES	666	87	13	9	3	33
BAJA CALIFORNIA	1,368	572	41	4	2	50
CAMPECHE	573	11	1	8	1	12
COLIMA	413	413	100	10	10	100
CHIAPAS	2,477	2,477	100	110	110	100
CHIHUAHUA	2,223	253	11	67	18	26
DISTRITO FEDERAL	10,162	10,162	100	16	16	100
DURANGO	1,366	642	47	38	12	31
GUANAJUATO	3,491	3,268	93	46	39	84
GUERRERO	2,515	2,515	100	75	75	100
HIDALGO	1,797	1,323	73	84	56	66
JALISCO	5,125	4,946	96	124	120	96
MEXICO	11,116	11,116	100	121	121	100
MICHOACAN	3,330	3,330	100	113	113	100
MORELOS	1,227	1,227	100	33	33	100
NAYARIT	835	835	100	19	19	100
PUEBLA	3,996	3,720	93	216	193	89
OAXACA	2,630	2,630	100	570	570	100
QUERETARO	929	223	24	18	12	66
SINALOA	2,311	2,311	100	18	18	100
SONORA	1,771	808	45	69	44	63
TABASCO	1,276	1,150	90	17	15	88
TLAXCALA	655	655	100	44	44	100
VERACRUZ	6,523	4,357	66	203	154	75
ZACATECAS	1,243	465	37	56	29	51
TOTAL	70,018	59,496	85	2,088	1,827	88

Cuadro 01

FUENTE: 1 Proyecciones de la población de México y de las entidades federativas 1980-2010. INEGI-CONAPO
 2 Estimados por la Dirección General del Registro Nacional de Población en base al X Censo General de Población y Vivienda y de las Proyecciones de Población de México y de las entidades Federativas 1980-2010. INEGI-CONAPO
 3 4 X Censo General de Población y Vivienda de 1980. INEGI. Secretaría de Programación y Presupuesto
 * Cifras en miles

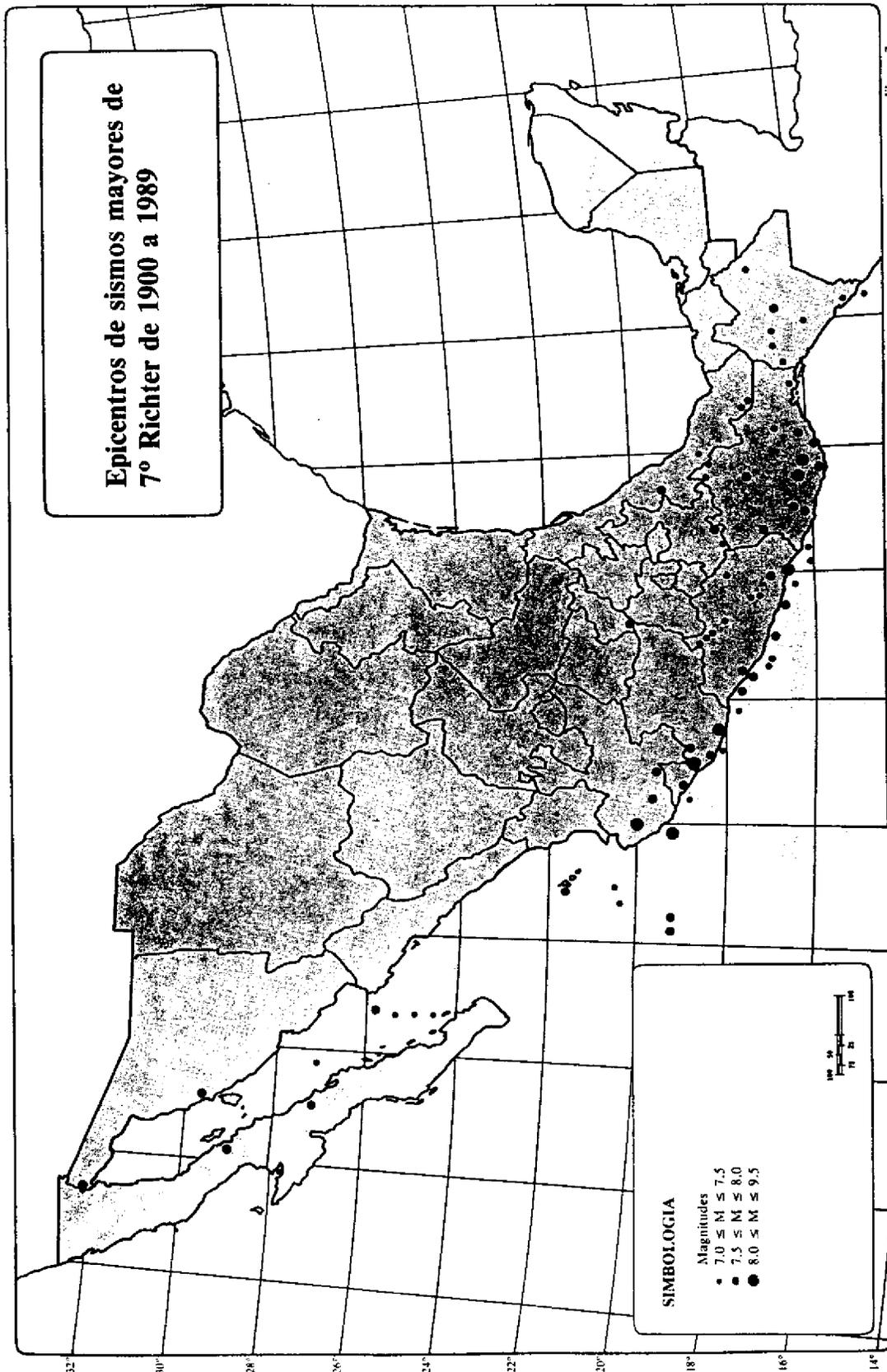


Figura 7

Fuente: Instituto de Geofísica de la UNAM.

ALGUNOS SISMOS DESTRUCTIVOS DE MEXICO DURANTE EL SIGLO XX

FECHA	REGION	POBLACIONES MAS AFECTADAS	MAGNITUD ESC. RICHTER	DAÑOS
NOV. 19, 1912	EDO. DE MEX	ACAMBAY, TIMILPAN Y DISTRITO FEDERAL	7.0	— DESLIZAMIENTO DE TIERRA, 202 MUERTOS, VARIOS HERIDOS
ENE 4, 1920	PUEBLA, VERACRUZ	COSAUTLAN, TEOCELO Y JALAPA EN VERACRUZ, PATLANALA Y CHILCHOTLA EN PUEBLA	6.5	— PRODUJO RUIDOS SUBTERRANEOS, DERRUMBES EN LAS LADERAS DE LAS MONTAÑAS; 430 MUERTOS; VARIOS HERIDOS
JUN 3, 1932	JALISCO, COLIMA	MANZANILLO, CUYUTLAN, TECOMAN Y COLIMA EN COLIMA, GUADAJARA, LA BARCA, MASCOTA Y AUTLAN EN JALISCO.	8.4	— 300 MUERTOS; 400 HERIDOS
JUL 26, 1937	OAXACA, VERACRUZ	MALTRATA EN VERACRUZ	7.3	— 34 MUERTOS
ABR 15, 1941	MICHOACAN, JALISCO	ALGUNAS POBLACIONES DE MICHOACAN, JALISCO Y COLIMA	7.9	— DESTRUCCION DE LA CATEDRAL DE LA CIUDAD DE COLIMA; 90 MUERTOS Y 300 HERIDOS
JUL 28, 1957	GUERRERO	SAN MARCOS Y CHILPANCINGO EN GUERRERO Y EN EL D.F.	7.7	— NUMEROSOS DERRUMBES DE CASAS Y EDIFICIOS. 98 MUERTOS. VARIOS HERIDOS, SE REGISTRO UN TSUNAMI EN ACAPULCO Y SAILINA CRUZ
JUL 6, 1964	GUERRERO, MICHOACAN	CD. ALTAMIRANO, CUTZAMALA, COYUCA DE CATALAN EN GUERRERO, TANGANHUATO Y HUETAMO EN MICHOACAN	7.2	— 40 MUERTOS, 150 HERIDOS; PERDIDAS MATERIALES DE CONSIDERACION

ALGUNOS SISMOS DESTRUCTIVOS DE MEXICO DURANTE EL SIGLO XX

FECHA	REGION	POBLACIONES MAS AFECTADAS	MAGNITUD ESC. RICHTER	DAÑOS
AGO. 28, 1973	OAXACA, VERACRUZ	POBLACIONES FRONTERIZAS DE LOS ESTADOS DE PUEBLA, VERA- CRUZ Y OAXACA,	7.3	— DERRUMBES DE CASAS Y CUARTEADURAS SERIAS EN EDIFICIOS; 527 MUERTOS. 4,075 HERIDOS, VARIOS MI- LLONES DE PESOS EN PER- DIDAS
OCT 24, 1980	OAXACA, PUEBLA	HUAJUAPAN DE LEON EN OAXACA Y EN POBLACIONES VECINAS DE LOS ESTADOS DE GUERRERO Y PUEBLA	7.0	— 300 MUERTOS, 1,000 HERI- DOS; 15,000 DAMNIFICADOS, SIENDO LA MAYORIA DE HUAJUAPAN DE LEON.
SEP 19, 1985	MICHOACAN, GUERRERO	MICHOACAN, COLIMA, GUERRERO, MEXICO, JALISCO, MORELOS Y EL D F.	8.1	— 3,050 MUERTOS; 40,750 HE- RIDOS; 80,600 DAMNIFICA- DOS; 1,970 EDIFICACIONES COLAPSADAS Y 5,700 DAÑA- DAS; PERDIDAS MATERIA- LES POR UN BILLON DE PE- SOS.

FUENTE Universidad Nacional Autonoma de México Instituto de Geofísica

Cuadro 02
(termina)