

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN ZONAS URBANAS DEL ESTADO DE VERACRUZ

*Javier F. Lermo Samaniego**

*Jorge Cruz T.***

*José Hernández R.***

*Alejandro Vargas C.***

*Gilbert Torres***

*Jorge Almanza P.***

Resumen

El registro de la vibración ambiental mediante sismómetros de 5 segundos de periodo natural (microtremores), y el análisis de la información geológica y geotécnica de un lugar, permiten conocer la distribución de los periodos dominantes (T_0) y la amplificación máxima relativa (A_r) con respecto a un sitio de terreno firme. Estas características denominadas "efectos de sitio" junto con la distribución de las diferentes formaciones superficiales permiten proponer un mapa de microzonificación sísmica para una zona urbana determinada. En este trabajo se presentan los resultados de la aplicación de esta técnica en dos ciudades del estado de Veracruz: Xalapa y Puerto de Veracruz.

Introducción

Uno de los fenómenos naturales más destructores para el hombre son los sismos y terremotos y dado que casi la totalidad de muertes ligadas a los sismos ocurre por el colapso de las estructuras construidas por el hombre, la tendencia actual de las sociedades para protegerse de estos fenómenos consiste en la prevención de sus efectos en las construcciones.

En México se cuenta con amplia experiencia en el campo de la protección de estructuras a través de la elaboración de reglamentos de construcción. El primer

* Instituto de Ingeniería, UNAM, Ciudad Universitaria, Apdo. Postal 70-472, Coyoacán, 04510, México D. F.

** Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana, Paseo Framboyanes s/n esq. Adolfo Ruíz Cortínez, Veracruz, Ver., fax (9129) 217475.

reglamento para el Distrito Federal se elaboró entre 1959 y 1962, el cual asimiló la experiencia de los daños causados por el temblor de julio de 1957. En efecto, es importante resaltar que todo reglamento de construcciones se basa en las observaciones disponibles hasta el momento de su elaboración y, con base en ellas, se realizan estimaciones estadísticas de los niveles de movimiento sísmico que pueden esperarse en una cierta zona durante un periodo determinado. Estudios formales de evaluación de riesgo sísmico durante los años 60 llevaron a la elaboración de los primeros mapas de riesgo sísmico para el país (Esteva 1970), los cuales fueron actualizados en 1974 y a la fecha están nuevamente en proceso de revisión para incorporar observaciones recientes.

Cabe mencionar, sin embargo, que en la práctica la ingeniería sísmica en nuestro país no es pareja. Así tenemos que en el Distrito Federal se ha instalado una red con más de 100 estaciones de registro acelerográfico digital de tres componentes, mientras que en la ciudad de Puebla, que también se ha visto afectada por sismos en el pasado, se tienen instalados solamente cuatro acelerógrafos y muchas otras ciudades importantes, como Veracruz y Xalapa, no tienen.

Para el Distrito Federal se cuenta con un reglamento moderno en vigor desde 1987, que incorpora disposiciones basadas en los resultados de los estudios de gran cantidad de registros acelerográficos obtenidos durante los sismos de septiembre de 1985, donde se observaron notables diferencias en el comportamiento del terreno de acuerdo a sus características físicas. La representación cartográfica de las diferencias de comportamiento del terreno durante un sismo, es lo que se conoce como microzonificación sísmica.

Otro ejemplo reciente de microzonificación sísmica se realizó para el puerto de Acapulco, mediante un proyecto patrocinado por el Gobierno de dicho Estado; sin embargo, para el resto del país se cuenta solamente con una zonificación que divide al territorio en cuatro grandes zonas, tomando en cuenta su localización con respecto a las zonas sismogénicas más importantes. Si bien esto ya representa un avance y puede ser suficiente en algunos casos para proporcionar lineamientos generales, es insuficiente en el caso de aglomeraciones urbanas importantes dentro de las zonas con riesgo sísmico de moderado a alto.

Es precisamente este problema el que dio origen a las investigaciones: *Efecto de sitio en el puerto de Veracruz* (Lermo, et al, 1995) y *Efecto de sitio en la ciudad de Xalapa* (Lermo, et al, 1995), que se describen en este trabajo y que fueron posibles por el patrocinio del Instituto de Ingeniería de la UNAM y el Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, a través de los alumnos del Doctorado en Estructuras. Para estas investigaciones se realizó una revisión de la sismicidad de la zona, principalmente a través de los efectos que han ocasionado los sismos principales que históricamente han afectado a cada una de estas ciudades. Ya que no se cuenta con registros acelerográficos en estos lugares, se revisaron también los resultados de los estudios geológicos y geotécnicos a los que se pudo tener acceso y se realizaron campañas de medición de la vibración ambiental (microtremores), en diferentes

tipos de terreno, utilizando tres sensores de velocidad con un periodo natural de 5 segundos. Los sensores registran el movimiento del terreno en tres direcciones ortogonales, dos horizontales y la vertical, con una duración de un minuto por cada punto seleccionado, grabándose en cinta magnética para su posterior procesamiento.

La medición de microtemblores es una técnica bien conocida para la evaluación del periodo dominante (T_0) en sedimentos superficiales. Una revisión de la bondad de la aplicación de este método en la ciudad de México fue presentada por Lermo y Chávez-García (1994). Estos autores compararon diferentes técnicas de procedimiento y muestran que el mejor resultado obtenido fue usando la de Nakamura (1989), la cual consiste en obtener cocientes espectrales de los registros de las componentes horizontales en relación con el registro de la componente vertical en un solo sitio. Esta técnica además permite obtener una estimación del factor de amplificación máxima relativa al movimiento del suelo firme (A_r).

Microzonificación sísmica del estado de Veracruz

Localización y sismicidad

La ciudad de Veracruz, localizada a $19^{\circ} 12'$ de Latitud Norte y $96^{\circ} 08'$ de Longitud Oeste, se encuentra asentada en el litoral del Golfo de México. Aun cuando la zona es considerada de sismicidad moderada, este puerto ha experimentado sismos locales importantes como el ocurrido el 11 de marzo de 1967, de magnitud $m_b=5.3$, conocido como el Temblor de Veracruz por los daños ocasionados en alrededor de 50 edificios. Este temblor fue localizado en la plataforma continental frente a la Punta de Antón Lizardo, a 20 Km al Sureste del Puerto de Veracruz (Figueroa, 1968). También se tiene registrado un sismo el primero de julio de 1949 en la misma zona (Suárez, 1994). Otro temblor que también afectó a Veracruz es el de Jáltipan del 26 de agosto de 1959, de magnitud $M_s=6.4$, que destruyó dicha población (Suárez, 1994); también se registra un sismo en el mismo sitio el 12 de noviembre de 1857 (Orozco y Berra, 1887). Estos ejemplos modifican la consideración que se ha tenido sobre la sismicidad en la zona.

Geología y Geotécnica

Desde un punto de vista morfológico Esquivel (1976) diferenció tres zonas en la ciudad de Veracruz, la cual está asentada entre la margen izquierda del río Jamapa y el litoral del Golfo, siendo éstas:

- i) Depósitos de dunas (Qd), unidad formada por el acarreo de arenas litorales por acción eólica, las arenas son de grano medio a fino, compuesto por

feldespatos, micas, fragmentos de roca, cuarzo, conchas de pelecípodos, etc. La unidad forma dunas longitudinales paralelas a la línea de la costa con alturas mayores que 15 metros, los alineamientos de antiguas dunas fijas han permitido el desarrollo de vegetación, así como asentamientos humanos, tal es el caso de los fraccionamientos Vista Mar y Médano de Buenavista.

- ii) Depósitos de playa (Qp), depósito de arena fina acumulada por la acción de la alta marea en la zona de la playa; son arenas ricas en feldespatos, micas, cuarzo y fragmentos de roca. Ubicada en la proximidad de la costa, presenta una ligera pendiente hacia el mar. En esta zona también existen formaciones coralíferas que se extienden por toda la costa y que subyacen a los depósitos de playa a profundidades variables entre 10 y 20 m.
- iii) Depósitos aluviales (Qal), originados por la acción fluvial, su textura y granulometría varía de una región a otra; hacia la porción occidental de la ciudad son suelos poco consolidados de arena gruesa ligeramente gravosos, compuestos por vidrio volcánico, feldespatos, micas y fragmentos de roca; hacia la planicie costera, los suelos son limo-arenosos, compuestos por clastos de cuarzo, feldespatos, micas, fragmentos de roca y gran contenido de limos, escasamente consolidados. Zona ubicada sobre la margen izquierda del río Jamapa y atrás de los cordones de dunas litorales. Esta es una zona de inundación en la que hasta hace algunos años prácticamente no existía desarrollo humano, sin embargo, actualmente es una de las zonas de mayor crecimiento, por ejemplo: Fraccionamiento Floresta, Av. La Fragua, Av. Urano, Av. Jiménez Sur, etcétera.

Para obtener esta zonificación Esquivel (1976), realizó dentro de la ciudad 38 sondeos de exploración con muestreo alternado combinado con pruebas de penetración estándar y 13 pozos a cielo abierto con recuperación de muestras inalteradas.

Mediciones de vibración ambiental (microtremores)

Para la medición de los microtremores se seleccionaron 23 sitios a lo largo de 5 perfiles y un punto adicional en la zona de depósitos aluviales. En cada punto se obtuvieron dos registros de un minuto de duración cada uno. Para el procesamiento de los registros en cada punto se seleccionaron de cuatro a seis ventanas con duración de 10 seg (Fig. 1), que se utilizaron como entrada para el cálculo de los espectros de amplitud, los cuales a su vez se suavizaron con una ventana cuadrada de 1/6 de octava de ancho (Fig. 2). Por último se calcularon los cocientes espectrales de cada una de las componentes horizontales sobre el de la vertical; a este cociente se le denomina como función de transferencia. En la Figura 3 se presentan los resultados promedio junto con su respectiva desviación estándar para el punto adicional de la zona de depósitos aluviales. En esta figura, la línea continua indica el promedio de los cocientes espectrales para diferentes ventanas de información, mientras que la línea

discontinua indica en promedio más o menos una desviación estándar. Se observa una buena concordancia entre ambas componentes horizontales.

Como resultado del procesamiento de los registros de los microtemores en cada sitio se presenta en la figura 4 la distribución de los periodos dominantes. Los valores de T_0 varían de 0.3 a 0.7 seg; espacialmente esta variación del periodo dominante aumenta en forma constante de sur a norte, el valor más alto del periodo dominante (0.7 seg) se encuentra cerca de la zona de la Playa Norte.

Aun cuando la estimación de las amplitudes máximas relativas (A_r) obtenidas a través del registro de microtemores muestra mayor dispersión que los periodos dominantes (Lermo y Chávez-García, 1994b, Lachet y Bard, 1995), es importante conocer las tendencias de estos valores para las diferentes zonas, por lo que en la Figura 5 se muestran los resultados para este parámetro. Si se observan espacialmente los valores de las amplificaciones máximas relativas, se ve que no guardan la misma variación que los valores de T_0 ; sin embargo los valores más grandes, 18 y 8 veces respecto a un suelo firme, están asociados también a los dos valores de T_0 más grandes, aunque no siempre se cumple esta relación como se observa para los valores de $T_0 = 0.5$ seg en la zona de Depósitos de Playa, donde A_r varía entre 2 y 6 veces y en el sitio de Depósitos Aluviales con el mismo periodo de 0.5 se obtuvo una amplificación relativa de 15 veces. También es importante hacer notar que los valores más bajos (2 y 3 veces) se presentan en los sitios de Depósitos de Dunas salvo dos puntos que tienen una A_r de 6.

Discusión de resultados

La correlación entre la información geológica superficial, los estudios geotécnicos y la distribución de los valores de T_0 y A_r , estimados a partir del registro de la vibración ambiental, delimitan una zona dentro de los Depósitos de Playa con un alto peligro sísmico, que abarca casi la totalidad de la parte antigua de la ciudad de Veracruz; esta zona presenta valores de T_0 entre 0.5 y 0.7 seg, así como una amplificación máxima relativa A_r entre 5 y 18 veces. Probablemente estos valores están asociados a los estratos de compacidad suelta y media que presentan espesores entre 10 y 25 metros. Suponiendo que la amplificación observada del movimiento sísmico se debe a la resonancia 1D de las capas superficiales mencionadas, se pueden estimar valores de la velocidad de propagación de las ondas de cortante en los sedimentos del orden de los 120 m/seg para un espesor de 15 m y un periodo dominante de 0.5 seg. Otras tres zonas que se pueden diferenciar, están limitadas por las tres zonas de depósitos caracterizadas por Esquivel (1976). Finalmente se caracterizó una quinta zona por presentar problemas de estabilidad para las construcciones. Esta zona se encuentra precisamente en la parte más angosta de la zona del Depósito de Dunas, donde en épocas de lluvias, se presentan corrientes pluviales subterráneas que desplazan la arena dentro de las dunas, que a la larga dañan o están dañando la estabilidad de las construcciones sobre estos depósitos. En la figura 6 se presenta el mapa propuesto de microzonificación sísmica para la ciudad de Veracruz.

feldespatos, micas, fragmentos de roca, cuarzo, conchas de pelecípodos, etc. La unidad forma dunas longitudinales paralelas a la línea de la costa con alturas mayores que 15 metros, los alineamientos de antiguas dunas fijas han permitido el desarrollo de vegetación, así como asentamientos humanos, tal es el caso de los fraccionamientos Vista Mar y Médano de Buenavista.

- ii) Depósitos de playa (Qp), depósito de arena fina acumulada por la acción de la alta marea en la zona de la playa; son arenas ricas en feldespatos, micas, cuarzo y fragmentos de roca. Ubicada en la proximidad de la costa, presenta una ligera pendiente hacia el mar. En esta zona también existen formaciones coralíferas que se extienden por toda la costa y que subyacen a los depósitos de playa a profundidades variables entre 10 y 20 m.
- iii) Depósitos aluviales (Qal), originados por la acción fluvial, su textura y granulometría varía de una región a otra; hacia la porción occidental de la ciudad son suelos poco consolidados de arena gruesa ligeramente gravosos, compuestos por vidrio volcánico, feldespatos, micas y fragmentos de roca; hacia la planicie costera, los suelos son limo-arenosos, compuestos por clastos de cuarzo, feldespatos, micas, fragmentos de roca y gran contenido de limos, escasamente consolidados. Zona ubicada sobre la margen izquierda del río Jamapa y atrás de los cordones de dunas litorales. Esta es una zona de inundación en la que hasta hace algunos años prácticamente no existía desarrollo humano, sin embargo, actualmente es una de las zonas de mayor crecimiento, por ejemplo: Fraccionamiento Floresta, Av. La Fragua, Av. Urano, Av. Jiménez Sur, etcétera.

Para obtener esta zonificación Esquivel (1976), realizó dentro de la ciudad 38 sondeos de exploración con muestreo alternado combinado con pruebas de penetración estándar y 13 pozos a cielo abierto con recuperación de muestras inalteradas.

Mediciones de vibración ambiental (microtremores)

Para la medición de los microtremores se seleccionaron 23 sitios a lo largo de 5 perfiles y un punto adicional en la zona de depósitos aluviales. En cada punto se obtuvieron dos registros de un minuto de duración cada uno. Para el procesamiento de los registros en cada punto se seleccionaron de cuatro a seis ventanas con duración de 10 seg (Fig. 1), que se utilizaron como entrada para el cálculo de los espectros de amplitud, los cuales a su vez se suavizaron con una ventana cuadrada de 1/6 de octava de ancho (Fig. 2). Por último se calcularon los cocientes espectrales de cada una de las componentes horizontales sobre el de la vertical; a este cociente se le denomina como función de transferencia. En la Figura 3 se presentan los resultados promedio junto con su respectiva desviación estándar para el punto adicional de la zona de depósitos aluviales. En esta figura, la línea continua indica el promedio de los cocientes espectrales para diferentes ventanas de información, mientras que la línea

discontinua indica en promedio más o menos una desviación estándar. Se observa una buena concordancia entre ambas componentes horizontales.

Como resultado del procesamiento de los registros de los microtemores en cada sitio se presenta en la figura 4 la distribución de los periodos dominantes. Los valores de T_0 varían de 0.3 a 0.7 seg; espacialmente esta variación del periodo dominante aumenta en forma constante de sur a norte, el valor más alto del periodo dominante (0.7 seg) se encuentra cerca de la zona de la Playa Norte.

Aun cuando la estimación de las amplitudes máximas relativas (A_r) obtenidas a través del registro de microtemores muestra mayor dispersión que los periodos dominantes (Lermo y Chávez-García, 1994b, Lachet y Bard, 1995), es importante conocer las tendencias de estos valores para las diferentes zonas, por lo que en la Figura 5 se muestran los resultados para este parámetro. Si se observan espacialmente los valores de las amplificaciones máximas relativas, se ve que no guardan la misma variación que los valores de T_0 ; sin embargo los valores más grandes, 18 y 8 veces respecto a un suelo firme, están asociados también a los dos valores de T_0 más grandes, aunque no siempre se cumple esta relación como se observa para los valores de $T_0 = 0.5$ seg en la zona de Depósitos de Playa, donde A_r varía entre 2 y 6 veces y en el sitio de Depósitos Aluviales con el mismo periodo de 0.5 se obtuvo una amplificación relativa de 15 veces. También es importante hacer notar que los valores más bajos (2 y 3 veces) se presentan en los sitios de Depósitos de Dunas salvo dos puntos que tienen una A_r de 6.

Discusión de resultados

La correlación entre la información geológica superficial, los estudios geotécnicos y la distribución de los valores de T_0 y A_r , estimados a partir del registro de la vibración ambiental, delimitan una zona dentro de los Depósitos de Playa con un alto peligro sísmico, que abarca casi la totalidad de la parte antigua de la ciudad de Veracruz; esta zona presenta valores de T_0 entre 0.5 y 0.7 seg, así como una amplificación máxima relativa A_r entre 5 y 18 veces. Probablemente estos valores están asociados a los estratos de compacidad suelta y media que presentan espesores entre 10 y 25 metros. Suponiendo que la amplificación observada del movimiento sísmico se debe a la resonancia 1D de las capas superficiales mencionadas, se pueden estimar valores de la velocidad de propagación de las ondas de cortante en los sedimentos del orden de los 120 m/seg para un espesor de 15 m y un periodo dominante de 0.5 seg. Otras tres zonas que se pueden diferenciar, están limitadas por las tres zonas de depósitos caracterizadas por Esquivel (1976). Finalmente se caracterizó una quinta zona por presentar problemas de estabilidad para las construcciones. Esta zona se encuentra precisamente en la parte más angosta de la zona del Depósito de Dunas, donde en épocas de lluvias, se presentan corrientes pluviales subterráneas que desplazan la arena dentro de las dunas, que a la larga dañan o están dañando la estabilidad de las construcciones sobre estos depósitos. En la figura 6 se presenta el mapa propuesto de microzonificación sísmica para la ciudad de Veracruz.

Es importante señalar que la zona II o zona de Depósitos de Dunas sea evaluada constantemente para detectar sitios donde se está produciendo el acarreo de la arena, ya que estas dunas son una barrera natural del drenaje de lluvia hacia el mar. Por otro lado también es importante continuar con las mediciones de vibración ambiental principalmente en la zona III o Zona de Depósitos Aluviales, ya que es muy probable que se encuentren en esta zona valores de periodos dominantes cercanos a 1 seg.

Microzonificación sísmica de la ciudad de Xalapa

Localización y sismicidad

La ciudad de Xalapa, Ver., está localizada a 235 km de la ciudad de México, en la zona 3 del mapa de riesgo sísmico de Esteva (1970). Durante su historia, Xalapa ha experimentado sismos locales importantes, como en el caso del sismo de 1546 que destruyó el templo franciscano, y los sismos de 1691 y 1874 de intensidades estimadas en VI y VIII respectivamente (Orozco y Berra, 1887). El más importante en este siglo es sin duda el llamado temblor de Xalapa. El epicentro de este temblor se ubicó aproximadamente a 50 km al SW de la ciudad y se le estimó una magnitud de 6.4(mb). Probablemente este fenómeno se debió a una falla local relativamente superficial, a una profundidad no mayor que 10 km (Suárez, 1991). El evento causó daños en una amplia región de los estados de Puebla y Veracruz. Se estima que 650 personas perecieron a causa del sismo, de éstas, 419 murieron por avalanchas de lodo provocadas por el deslave de material en las barrancas del río Huitzilapan. Este sismo pone de manifiesto el peligro sísmico existente a lo largo del Eje Neovolcánico Mexicano, donde importantes fallas activas han provocado varios macrosismos en el pasado reciente, como el sismo de Acambay, Estado de México de magnitud $M_s = 7.0$ del 19 de noviembre de 1912.

El aumento de la población y la industria en años recientes y la alta probabilidad de ser afectado por un temblor de las características ya mencionadas, son de suma importancia para que la ciudad de Xalapa cuente con un moderno y adecuado reglamento de construcciones, que incluya el comportamiento dinámico de los diferentes tipos de suelo (efectos de sitio).

El objetivo de este trabajo fue el de obtener una primera evaluación de los valores de periodos dominantes (T_0) asociados a la resonancia de capas de suelo blando presentes en la zona, así como determinar los rangos de amplificación máxima (A_r) relativo a terreno firme que se pueden esperar durante temblores futuros. Para este fin se recopiló: información geológica superficial, geotécnica y de daños del temblor de 1920 y adicionalmente se llevaron a cabo mediciones de vibración ambiental (microtemblores) en 35 sitios dentro de la ciudad. Basados en todo esto, se propone un primer mapa de microzonificación sísmica para la ciudad de Xalapa.

La información geológica de la ciudad de Xalapa fue tomada de Pierre-Rossignol et al. (1987). La Ciudad de Xalapa está ubicada sobre los derrames basálticos de un volcán de lava (Volcán Macuiltépetl). Este volcán que alcanza más de 1500 msnm de elevación, presenta relieves de pendientes mayores a los 15° alrededor del cráter. Estas pendientes de rocas basálticas llegan aproximadamente hasta los 1440 msnm, de donde empiezan a disminuir, hasta confundirse con las abanicos aluviales y depósitos lacustres que bordean a estos derrames basálticos. Estos depósitos lacustres recientes, que forman la parte más plana de la Ciudad de Xalapa, son interrumpidos bruscamente por la presencia de lomas redondeadas y alargadas hacia el oeste y sur de la Ciudad. Estas lomas pueden ser el producto de otros tres conos volcánicos de mayor edad que se encuentran al oeste del volcán Macuiltépetl. Los dos primeros (hacia el norte y centro del lado oeste) presentan un relieve suave de lomas alargadas constituidas por una brecha volcánica recubierta por ceniza volcánica. El tercer cono volcánico, que se encuentra hacia el sur del lado oeste del volcán Macuiltépetl, presenta flujos piroclásticos que se han transformado en una serie de lomas redondeadas constituidas por roca pumítica arenosa poco consolidada, recubierto por cenizas volcánicas. Estas lomas redondeadas abarcan toda la zona sur de la ciudad de Xalapa. Finalmente hacia el este y noroeste del volcán Macuiltépetl tenemos la presencia de basaltos caóticos recubiertos también por ceniza volcánica. Estos basaltos pueden ser mucho más antiguos que los derrames originados por los otros tres volcanes, ya que estratigráficamente se encuentran por debajo de estos productos, como se observa en la loma alargada de material pumítico arenoso poco consolidado que se encuentra en la parte noroeste de la ciudad.

Con el objeto de tener una zonificación preeliminar, basada solamente en el tipo de roca que aflora en la ciudad de Xalapa y haciendo la suposición de que la respuesta sísmica es la misma, tanto en los flujos piroclásticos pumíticos como en la brecha volcánica alterada, reconocemos 4 tipos de formaciones distintas. Estas son: i) Los derrames basálticos del volcán Macuiltépetl, ii) depósitos lacustres recientes, iii) lomas de flujos piroclásticos y brecha volcánica, y iv) derrames de basaltos cónicos. Se esperan efectos de sitio sobre los depósitos lacustres recientes, en las lomas de brecha volcánica y flujos piroclásticos.

Mediciones de vibración ambiental (microtremores)

La distribución de sitios en los cuales se registraron microtremores se muestra en la figura 7, donde observamos una mayor concentración de puntos precisamente en la zona sur de la ciudad, donde se reportaron la mayor parte de los daños ocasionados por el terremoto de enero de 1920. Se midieron a lo largo de 6 perfiles, haciendo un total de 35 puntos. En cada punto se obtuvieron dos registros de 1 minuto de

duración cada uno. Se seleccionaron 4 a 6 ventanas con duración de 10 s, que se utilizaron como entrada para el cálculo de los espectros de amplitud, los cuales a su vez se suavizaron con una ventana cuadrada de 1/6 de octava de ancho. Por último, se calcularon las funciones de transferencia promedio junto con su respectiva desviación estándar para cada punto. Un ejemplo de los resultados se presenta en la figura 8 para el punto H (fig. 7). En esta figura, la línea continua indica el promedio de los cocientes espectrales para diferentes ventanas de observación, mientras que la línea discontinua indica en promedio más o menos una desviación estándar.

La figura 9 presenta la distribución de T_0 basados en mediciones de microtemores. Los valores de T_0 varían de 0.2 a 0.8 segundos. Los periodos más grandes (0.8 s) se ubican en la zona sur de la ciudad de Xalapa, donde se concentran la mayor parte de los daños del terremoto de enero de 1920. Los valores de 0.8 s se concentran en un área pequeña, donde posiblemente se tiene el mayor espesor de sedimentos superficiales. Sin embargo si la respuesta de estos suelos es unidimensional (que es lo que se observa por la forma simple de sus funciones de transferencia empíricas), entonces el espesor de estos sedimentos no rebasa los 30 m de profundidad. Para los otros perfiles analizados los periodos dominantes del suelo no pasan de 0.6 s. Los valores de 0 s nos sugieren que en ese punto no existe efecto de sitio.

Con respecto al otro parámetro que también podemos estimar a partir de las funciones de transferencia empíricas obtenidas desde registros de microtemores, A_r , se muestran en la figura 10. Aun cuando este parámetro muestra mayor dispersión que el periodo dominante, sobre todo cuando se estima con registros de microtemores (Lermo y Chávez-García 1984b; Lachet y Bard, 1995) es importante conocer las tendencias de estos valores para las diferentes zonas. Para la zona sur de la ciudad (zona de daños), estos valores de A_r , varían entre 3 y 12. Los valores más grandes parecen tener relación con los lomeríos, ya que los puntos que tienen estos valores se encuentran cerca o sobre de éstos (B6, A1 y A9). Para los otros perfiles que se encuentran alrededor del volcán Macuiltépetl, estos valores varían entre 3 y 6, lo que concuerda con la poca variación de sus periodos dominantes.

Discusión de resultados

La correlación entre la información geológica superficial, la zona de daño provocado por el terremoto de enero de 1920 y la distribución de los periodos dominantes estimados a partir de registros de vibración ambiental, coinciden en señalar como una zona de alto riesgo sísmico, a la parte sur de la ciudad de Xalapa. Sin embargo, esta zona no es la única que presenta problemas de efectos de sitio, sino que estas se encuentran distribuidas alrededor de los derrames basálticos del volcán Macuiltépetl, como lo demuestra la distribución de valores de T_0 entre 0.2 y 0.6 s y una A_r promedio de 5 veces. Estos valores muestran que tanto los depósitos lacustres superficiales, como los derrames de basálticos caóticos que afloran hacia el este del vol-

cán Macuiltépetl, presentan efectos de sitio. Con respecto a los lomeríos que afloran hacia el oeste y sur de la ciudad de Xalapa, se han utilizado los puntos B6, A1 y A9 para estimar su efecto de sitio. Estos puntos que se encuentran cerca y sobre estos depósitos de material piroclástico alterado, presentan valores de T_0 entre 0.3 a 0.5 s y A_r valores mayores a 10 veces, aun cuando los periodos dominantes bajos, la amplificación máxima relativa observada es mayor que los observados en todo los otros sitios. Esto sugiere que los materiales arenosos de grano grueso y delgado de estos lomeríos, se encuentran muy alterados y poco consolidados. Por consiguiente esta zona presenta una alta posibilidad de sufrir deslizamientos, con o sin la presencia de movimientos externos producidos por un temblor.

Tomando en cuenta estos valores de T_0 y A_r y sobre todo el tipo de formación geológica, proponemos un mapa de microzonificación para la ciudad de Xalapa (fig. 11), donde se diferencian tres zonas: La Zona I es considerada como suelo firme (derrames basálticos del Macuiltépetl) sin la presencia de efectos de sitio. Zona II, comprende la mayor parte de la ciudad, donde se han observado daños por sismos, valores de periodos dominantes 0.8 s. Esta Zona II está formada por depósitos lacustres, ceniza volcánica y basálticos caóticos alterados. Zona III, considerada de mayor peligrosidad por presentar valores altos de amplificación relativa y por tener alta probabilidad de sufrir deslizamientos. Esto es debido a los materiales que conforman estos lomeríos ubicados en la parte sur, oeste y noroeste de la ciudad.

Conclusiones

En este trabajo se presentaron los resultados de los estudios de respuesta sísmica, mediante mapas de microzonificación, para dos ciudades del estado de Veracruz, como el inicio de un trabajo de investigación extenso y minucioso que debe proseguirse para las demás ciudades del estado, principalmente las ubicadas en la zona de sismicidad más frecuente.

El método de obtención de estos mapas a partir del registro de microtemblores y su correlación con los estudios geológicos y geotécnicos, utilizado en este trabajo, presenta una opción práctica y razonable para proseguir el estudio de otras ciudades importantes así como para las zonas del estado en donde se prevea un desarrollo a futuro.

Sin embargo, a pesar de la importancia que para la seguridad de las futuras obras de ingeniería presenta la obtención de estos mapas, a partir del la metodología utilizada en este trabajo, deberán considerarse como una primera aproximación que seguramente podrá detallarse con mayor exactitud mediante el registro de temblores, con instrumentos acelerográficos colocados en lugares estratégicamente seleccionados, así como con estudios geotécnicos más detallados.

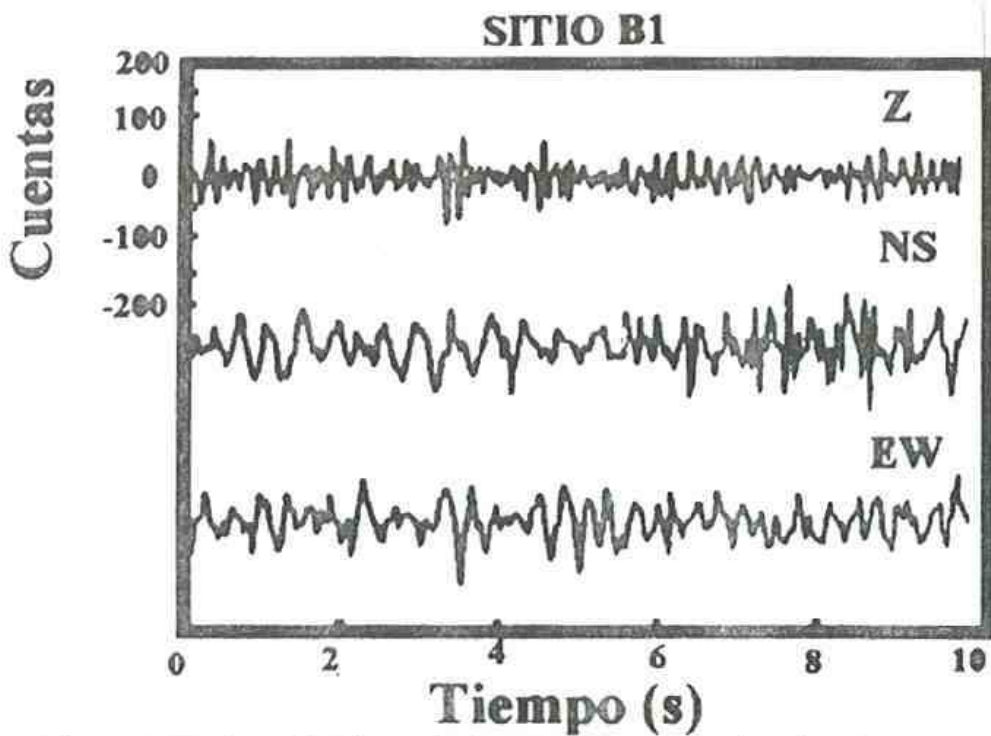


Figura 1. Ventana de 10 seg. de longitud de registro de microtremores para las tres componentes (Z, NS, EW).

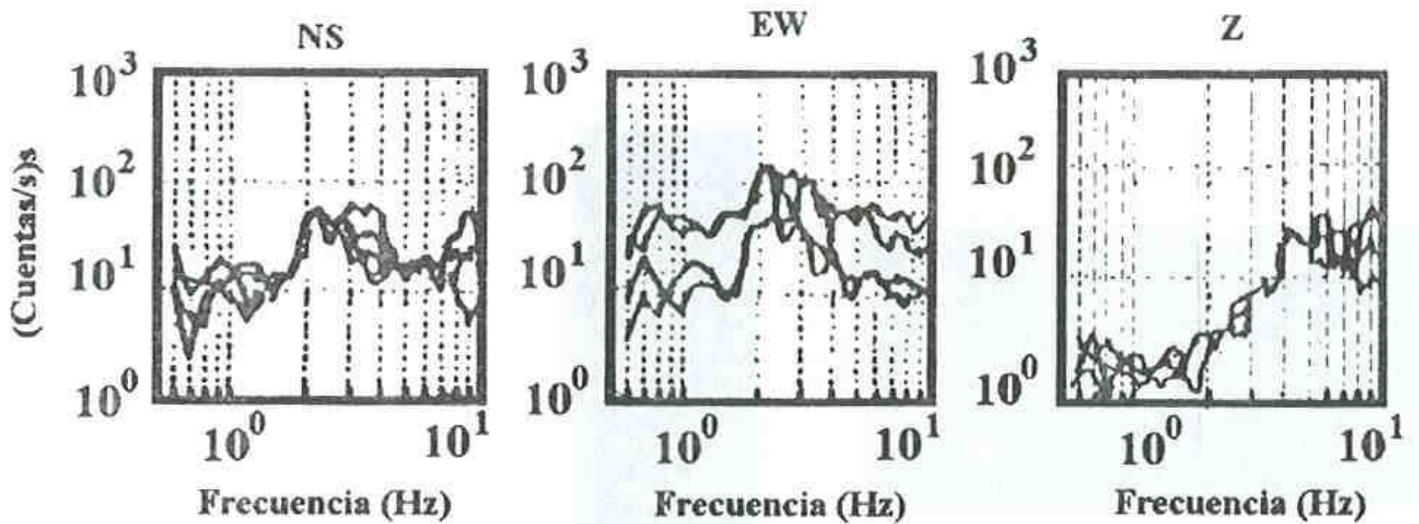


Figura 2. Espectros amplitud de fourier para cuatro ventanas de registro de microtremores para las tres componentes.

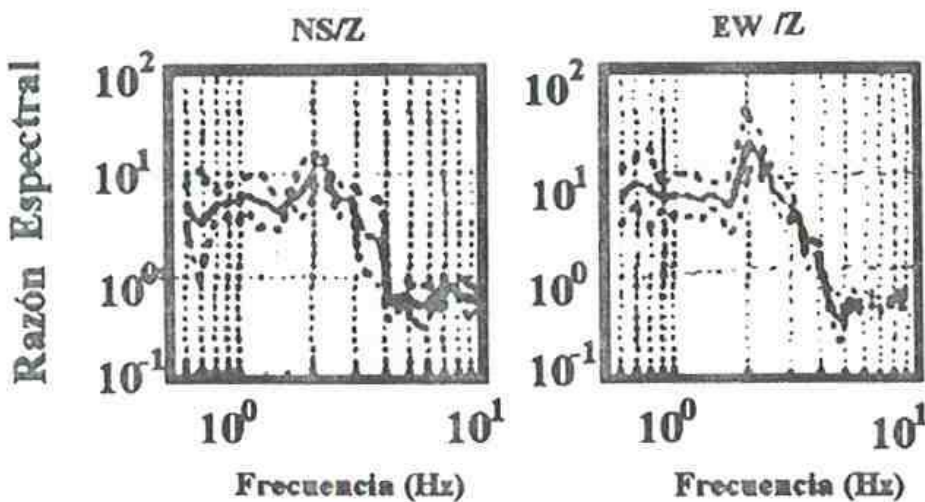


Figura 3.

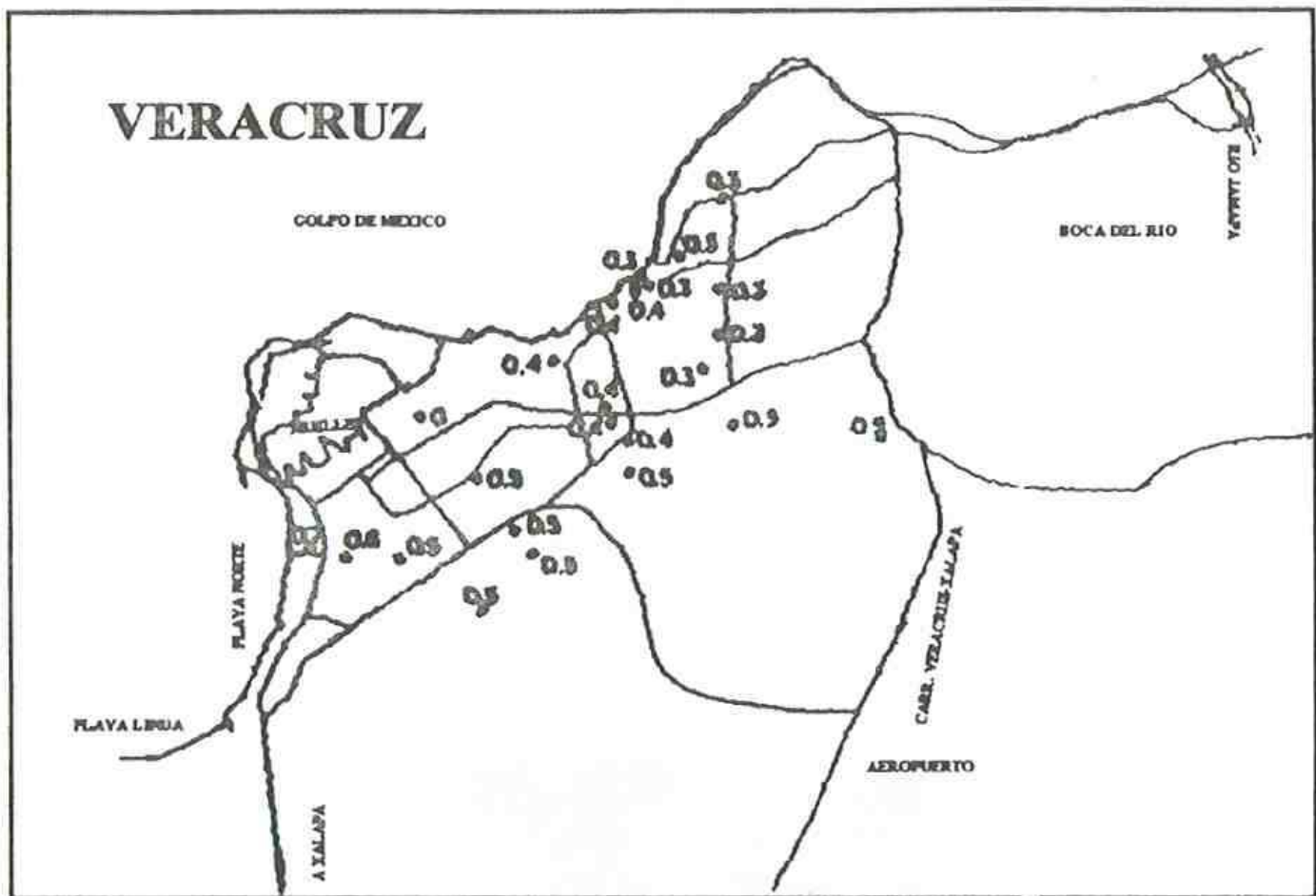


Figura 4. distribución de periodos dominantes obtenida para la ciudad de Veracruz, Ver.
(Valores en segundos).

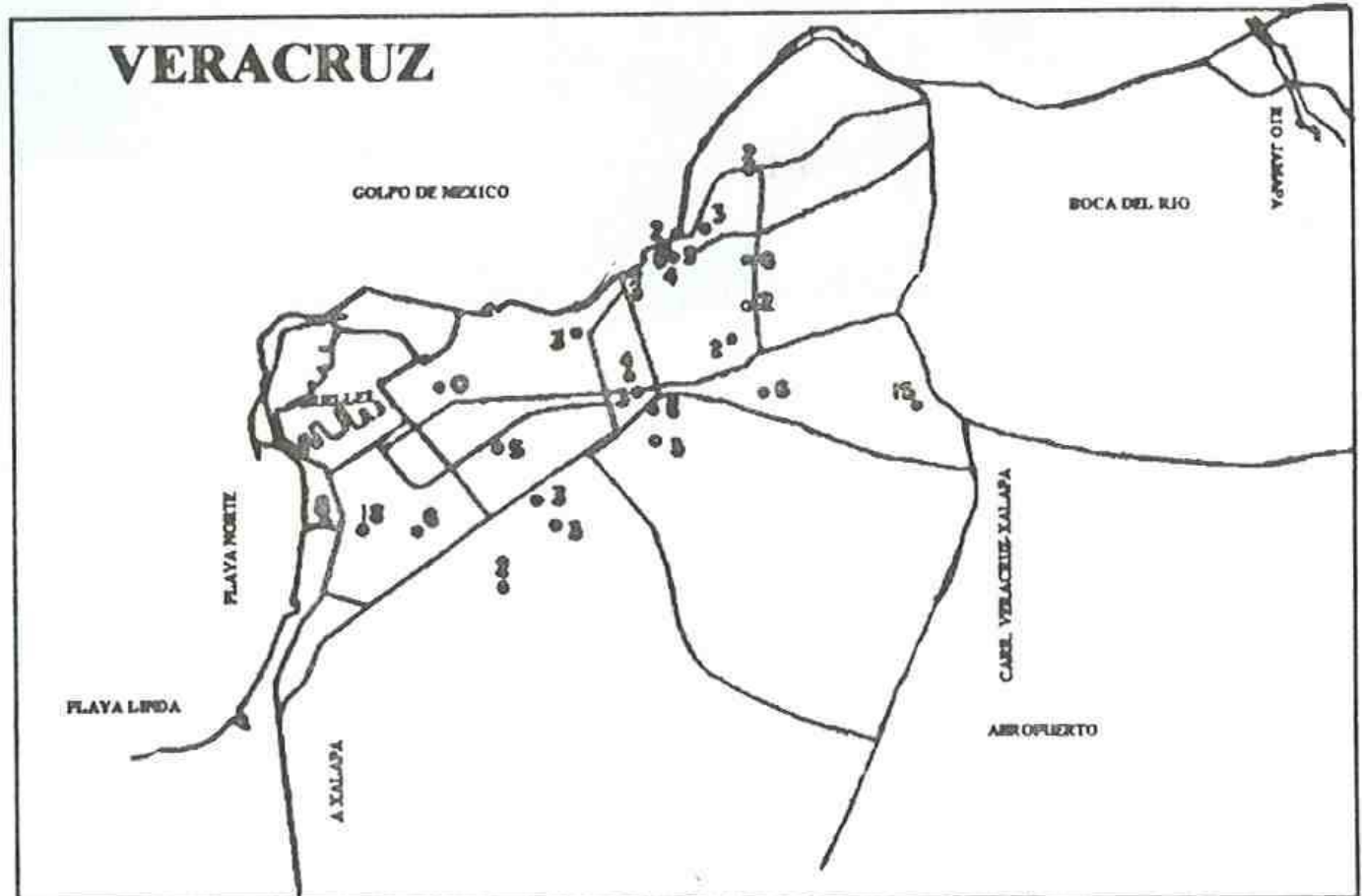


Figura 5. Distribución de amplificación máxima relativa obtenida para la ciudad de Veracruz, Ver.

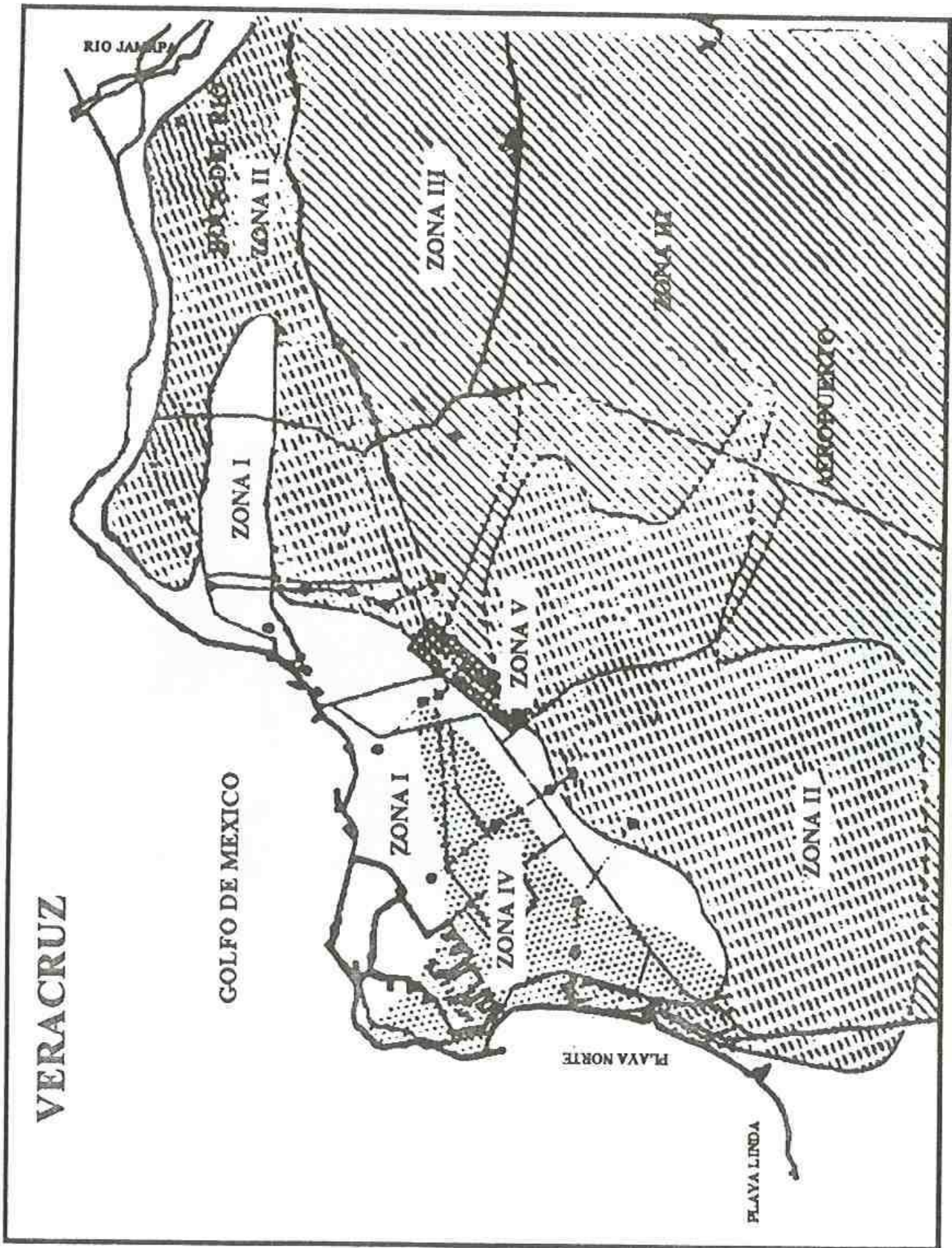


Figura 6. Mapa de microzonificación sísmica propuesta para la ciudad de Veracruz, Ver.

XALAPA

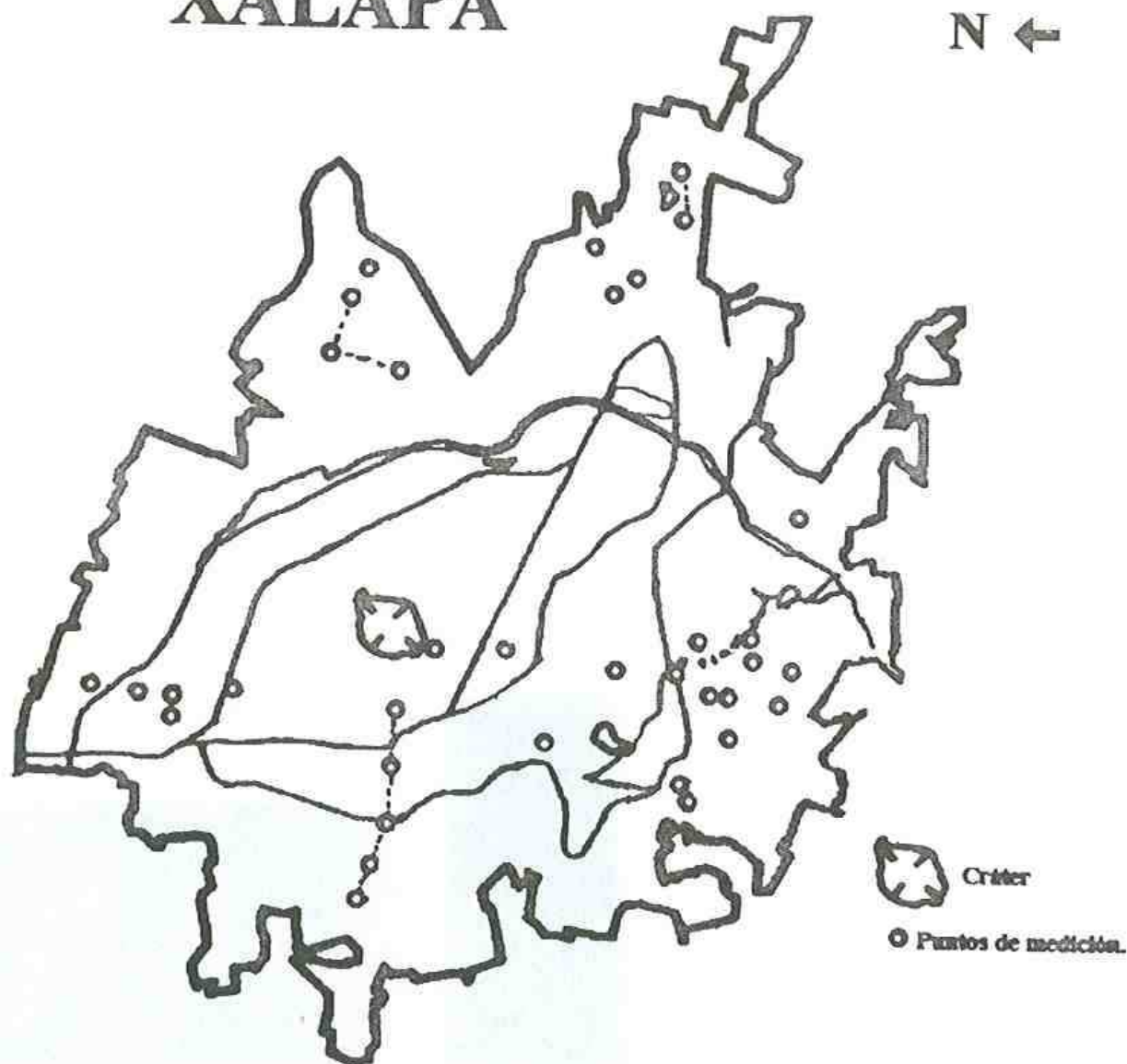


Figura 7. Distribución espacial de sitios donde se registraron microtremores.

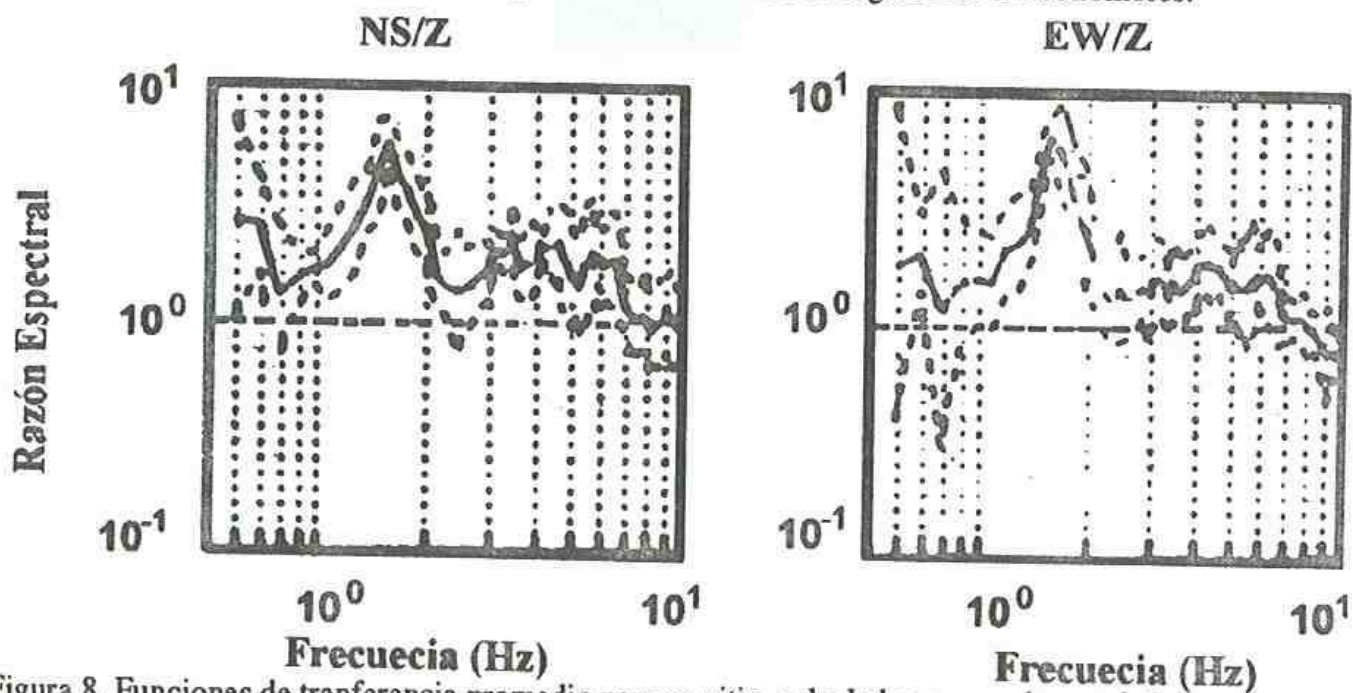


Figura 8. Funciones de transferencia promedio para un sitio, calculadas para cada una de las componentes horizontales utilizando la técnica de Nakamura. Línea continua: Función de transferencia promedio. Línea discontinua: Valores promedio más o menos una desviación estándar.

N ←

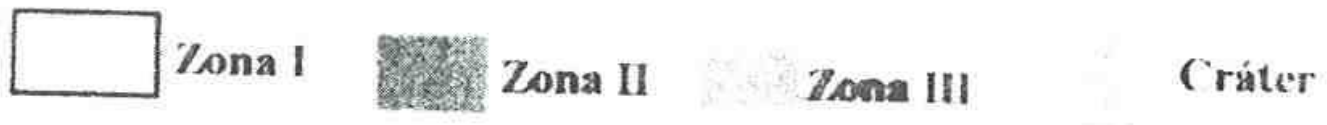
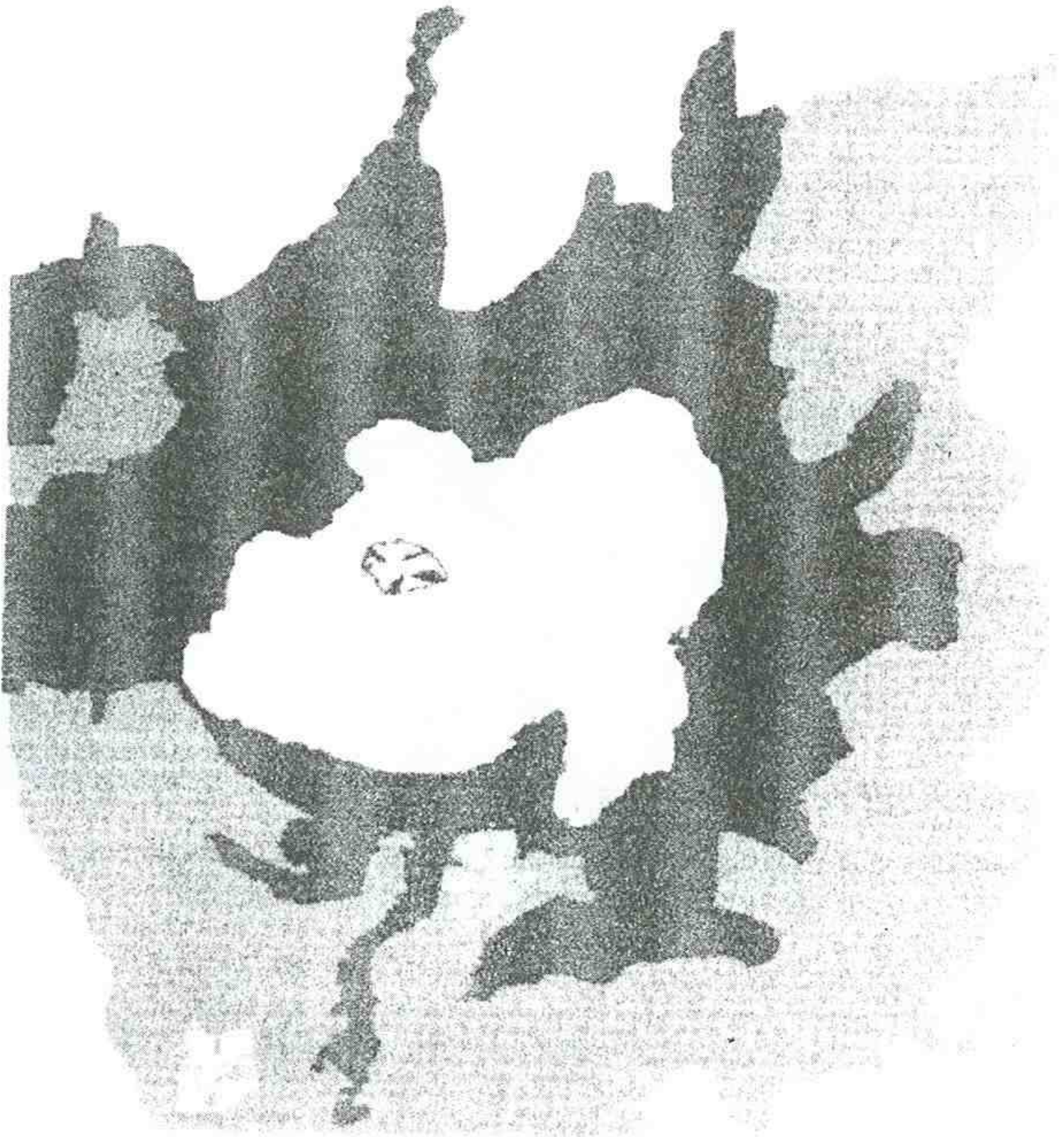


Figura 11. Mapa de microzonificación sísmica propuesto para la ciudad de Xalapa, Ver.

Bibliografía

- Esteva, L. (1970). *Regionalización Sísmica de México para fines de Ingeniería*. Instituto de Ingeniería, UNAM, Serie No. 246, México, D. F.
- Lermo, J. et al. (1995). *Efectos de sitio en el Puerto de Veracruz*, México, Instituto de Ingeniería, UNAM. En prensa.
- Lermo, J., et al. (1995). *Efectos de sitio en la ciudad de Xalapa, Veracruz, México*. Instituto de Ingeniería, UNAM, en prensa.
- Lermo, J. y Chávez García, F. J. (1994b). Site effect evaluation at México City: Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremor records, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 13, 413-423.
- Nakamura, Y. (1989). A Method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *QR of RTRI*, 30, No. 1, 25-33.
- Figuroa, J. (1968). *La sismicidad en el estado de Veracruz. Macrosismo del 11 de marzo de 1967*. Serie No. 167. Instituto de Ingeniería, UNAM, pp, 16, México, D.F.
- Suárez, G. (1994). Reverse faulting in the Isthmus of Tehuantepec: Backare deformation induced by the subduction of the Tehuantepec ridge, submitted to *Geology*.
- Orozco y Berra, J. D. (1887). *Efemérides Sísmicas Mexicanas*. Mem. Soc. Cientif. Antonio Alzate, México, D.F., 1, 303-541.
- Esquivel, R. (1976). Información general acerca del suelo de 17 ciudades de México, Veracruz, Ver., Memorias de la VIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, noviembre, Tomo II, p. 245-256, Guanajuato, México.
- Lachet, C. y P. Y. Bard (1995). Theoretical Investigations on the Nakamura's Technique, Proceedings Third International Conference on *Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, april, 2-7; Volume II, p. 671-675, St. Louis, Missouri, USA.
- Suárez, G. (1991). El Sismo de Jalapa del 3 de enero de 1920, *Revista de Ingeniería Sísmica*. SMIS. No 42, p. 3-15, México D.F.

SUMARIO

La Ciencia y el Hombre No. 21 vol. VII
septiembre-diciembre 1995,
Xalapa, Veracruz, México
Apdo. Postal 97

RIESGOS POR FENOMENOS NATURALES EN EL ESTADO DE VERACRUZ

Compiladores: Adalberto Tejeda, Ignacio Mora y Ernesto Jáuregui

INVESTIGACION

- El cráter de Chinampal, Ver., algunas consideraciones sobre su origen,*
Sergio Rodríguez, José L. Murrieta e Ignacio Mora 7
- Microzonificación sísmica en zonas urbanas del estado de Veracruz,*
Javier F. Lermo Samaniego, Jorge Cruz T., José Hernández R.,
Alejandro Vargas C., Gilberto Torres y Jorge Almanza P. 19
- Sismos que han afectado al estado de Veracruz,*
Ignacio Mora y José Luis Murrieta. 35
- El impacto de los ciclones tropicales del Golfo de México
en el estado de Veracruz,*
Ernesto Jáuregui e Irma Zitácuaro. 75
- Zonas con riesgo de inundaciones en el estado de Veracruz,*
Raúl López y Federico Acevedo. 121
- Sequías prolongadas y déficit hídrico en el estado de Veracruz,*
Domitilo Pereyra y Blanca E. Sánchez. 153
- Precipitación máxima probable en el estado de Veracruz,*
Eric Estrada y Domitilo Pereyra. 169
- Vientos máximos en el estado de Veracruz,*
José Llanos y Juan Cervantes. 185
- Riesgos por factores climáticos en centros urbanos
del estado de Veracruz,*
Adalberto Tejeda, Teresa Aguas y Edith Viveros. 209
- Conjeturas para el siglo próximo (los riesgos por hidrometeoros
en el estado de Veracruz ante el cambio climático global),*
René Garduño. 225

TRADUCCION

- Dios y la Ciencia*
Jean Guitton (traducción de Marco Tulio Aguilera) 247
- Lineamientos a los autores 250

Portada y diseño: Pepe Maya/Ilustraciones: Jorge García Martínez, Jorge Luis Estrada y Facultad de
Arquitectura de la UV (Zona Xalapa).