

## **Estudios para la mitigación del riesgo sísmico en zonas urbanas del Estado de Veracruz, México**

**Francisco Williams Linera, Guadalupe Riquer Trujillo, Alejandro Vargas Colorado, Regino Leyva Soberanis, Roberto Rivera Baizabal, Abigail Zamora Hernández.**

Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana  
Av. S. S. Juan Pablo II S/N, Campus Mocambo, Fracc. Costa Verde, C.P. 94294,  
Boca del Río, Veracruz, México (52 229)7752000 ext. 22214 a 22216.  
Correo Electrónico: [franciscowilliamslinera@yahoo.com.mx](mailto:franciscowilliamslinera@yahoo.com.mx)

### **Javier Lermo Samaniego**

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México  
Torre de Ingeniería, 2do. Piso, Cd. Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510,  
México, D.F., Tel. (55) 56233500 ext.1264.  
Correo Electrónico: [jles@pumas.iingen.unam.mx](mailto:jles@pumas.iingen.unam.mx)

## **RESUMEN**

Los terremotos suelen causar grandes desastres económicos y humanos, que están relacionados con el crecimiento rápido y desordenado de las ciudades, que ignoran normas sostenibles para su desarrollo. En este trabajo se describen varios estudios de investigación llevados a cabo para mitigar el riesgo sísmico en las ciudades; se aplicaron específicamente en el área metropolitana de Veracruz- Boca del Río, en el estado de Veracruz, México.

**Palabras clave:** Efecto de sitio, vibración ambiental, espectro de diseño, vulnerabilidad estructural, riesgo sísmico.

## **ABSTRAC**

Earthquakes usually cause large economic and human disasters, which are related to fast and disordered growth of cities that ignore sustainable rules for their development. This paper describe several research studies conducted for mitigating seismic risk in cities; they were specifically applied in metropolitan area Veracruz-Boca del Río, in the state of Veracruz, Mexico.

**Keywords:** Effect site, environmental vibration, spectrum for seismic design, structural vulnerability, seismic risk.

## **1 INTRODUCCIÓN**

La mayor actividad sísmica del planeta se genera en el Cinturón de Fuego del Pacífico, que incluye a la República Mexicana. Es en su costa del Océano Pacífico donde la interacción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera subducen con las de Norteamérica y del Caribe afectando a los estados de: Chiapas,

Recibido: Febrero de 2015

Aceptado: Julio de 2015

Guerrero, Oaxaca, Michoacán, Colima y Jalisco, cuyos efectos también son percibidos en Veracruz, Tlaxcala, Morelos, Puebla, Estado de México, Sonora, Baja California Norte, Baja California Sur y el Distrito Federal.

Debido a los sismos, grandes pérdidas humanas y económicas están relacionadas directamente con el colapso de las construcciones, por lo que una norma de construcción moderna, correctamente aplicada, constituye un recurso valioso para la prevención. En el caso de las construcciones ya existentes, se cuenta con otras herramientas útiles en la determinación de la vulnerabilidad estructural, que son rápidas y de bajo costo, por ejemplo los métodos cualitativos para la estimación de índices de vulnerabilidad y la instrumentación. Estas acciones, pueden preceder a la toma de decisiones que influyan en la reducción del riesgo de las construcciones existentes.

Este trabajo describe algunas de las acciones dirigidas a la reducción del riesgo sísmico en las construcciones del estado de Veracruz, debido a que este fenómeno ha afectado las zonas más vulnerables, en donde predomina la autoconstrucción con la ausencia de criterios de diseño sísmico, y la inexistencia o inadaptación de normas de construcción.

El 80 % de la superficie del estado está expuesta a un riesgo sísmico de moderado a alto, además de concentrar el 90% de su población y construcciones (Riquer *et al.*, 2008). Lo anterior expone la necesidad de efectuar mayor investigación formal y acciones regionales que impacten en la reducción de la vulnerabilidad sísmica. Algunos sismos memorables como el de Jáltipan en 1959 ( $M_w=6.4$ ), el de Xalapa en 1920 ( $M_s=6.2$ ) y el de Orizaba en 1973 ( $M_w=7.0$ ), han revelado infortunados escenarios para la población y el crecimiento económico, principalmente por el desconocimiento del *efecto de sitio* en el desarrollo de las construcciones (Lermo *et al.*, 2009). Estudiar el fenómeno y atenuar sus efectos, requiere de quehaceres diversos, que dependen en gran medida de una densidad y cobertura adecuada de instrumentos para el registro sísmico, que a su vez, nos permita conocer las características del peligro en la región (Leyva *et al.*, 2009).

## **2 HISTORIAL SÍSMICO EN EL ESTADO**

### **2.1 Catalogo de sismos pre-instrumentales**

Para conocer mejor la amenaza sísmica en un máximo intervalo de tiempo y compensar la escasa información regional instrumental (Riquer *et al.*, 2009b), se elaboró un catálogo de sismos previa a la instrumentación física, que incluye 950 eventos “percibidos” en el Estado. El primer sismo en el estado lo mencionan los españoles, y es el ocurrido cerca del Valle de Tehuacán, Pue., el 1º de abril de 1523; este catálogo concluye hasta 1910, cuando durante el gobierno de Porfirio Díaz, se instala la primera red formal de registro sísmico instrumental en México. Con este catálogo, se pudo estimar mejor la densidad, ubicación y periodicidad de eventos sísmicos importantes del Estado (Riquer *et al.*, 2008).

### **2.2 Catalogo de sismos instrumentales.**

Este catálogo se elaboró a partir de los sismos cuyos epicentros se localizaron en el estado de Veracruz y una franja de aproximadamente 20 Km de ancho mas allá de sus límites políticos, para incluir aquellos de importancia histórica (Figura 1); también contiene parte del Golfo de México en una ventana

entre las coordenadas: Latitud Norte: 17° a 23° y Longitud Oeste: 93° a 99° (Riquer *et al.*, 2008).

Para la elaboración de este catálogo, se recurrió a diversas fuentes, evitando duplicidad de eventos, unificando magnitudes para su análisis, verificando unidades horarias y precisando coordenadas epicentrales. Se consideraron variables como la diversidad de equipos empleados para el registro, su permanencia, ubicación, así como los criterios aplicados para el establecimiento de parámetros como la magnitud, entre otros.

El catálogo quedó integrado por 3690 eventos (1910-2014), con un análisis de la sismicidad del Estado de Veracruz a partir de 1959, fecha en que además de incrementar la capacidad de detección de la sismicidad regional, se dispone de más reportes homogéneos y continuos. Este catálogo posee datos confiables a partir de sismos con magnitud de completitud  $M_c=2.7$ , con una desviación para sismos con  $M_s=6$ , por falta de registros en un período más extenso (Pérez Torres, 2009).

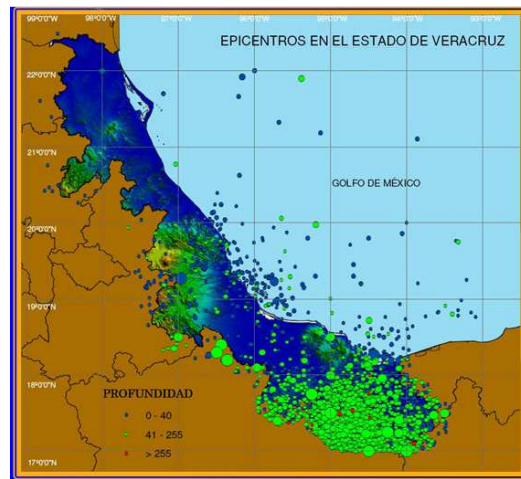


Figura 1 Epicentros en el estado de Veracruz.

### 2.3 Zonas sismogénicas del Estado de Veracruz

Se analizaron la tectónica, sismicidad y la fisiografía de la zona, y se elaboró una propuesta de regiones sismotectónicas, considerando antecedentes como la localización hipocentral de eventos de características similares, las características tectónicas comunes de la zona, mecanismos focales y/o patrones de fallamiento, características principales de la liberación de energía de los sismos dentro de cada región e identificación de aquellos eventos cuyas afectaciones a la población resultaron los más nocivos en cada región (Leyva *et al.*, 2010).

Las cinco regiones sismogénicas identificadas en la Figura 2 como: NAL, MVB, MVB1, IN2 y IN3, muestran una gran actividad sísmica en el centro y sur del estado, haciéndose más dispersa al norte (NAL), aunque por la escasa instrumentación en esta última región, es posible que no sea representativa de su potencial. Las regiones MVB y MVB1 están asociadas al Eje Neovolcánico Mexicano donde MVB1 corresponde a la discontinuidad fisiográfica de los Tuxtlas, cuya sismicidad puede estar relacionada con el volcán San Martín. Estas regiones,

se correlacionan con los sismos ocurridos en los primeros 20 km de profundidad, correspondientes a sismos intraplaca (NAM).

Se destaca la sismicidad al Sur del Estado (IN2, IN3) donde la región IN2 presenta fallamiento predominantemente normal y su peligro está relacionado a su menor profundidad en la zona de subducción de la placa de Cocos y Norteamérica. La región de mayor peligro para el estado de Veracruz es IN3 asociada a la mayor actividad sísmica profunda. La transición entre la zona IN2 e IN3 es gradual, con la región IN2 en subducción de ángulo bajo y la IN3 en ángulo alto. Se identificaron dos mecanismos focales con fallamiento inverso, probablemente asociados a fallas de la zona cortical de la región de Jáltipan, así como un mecanismo focal de transcurrancia, relacionado con alguna falla local del Golfo de México (Vargas *et al.*, 2012).

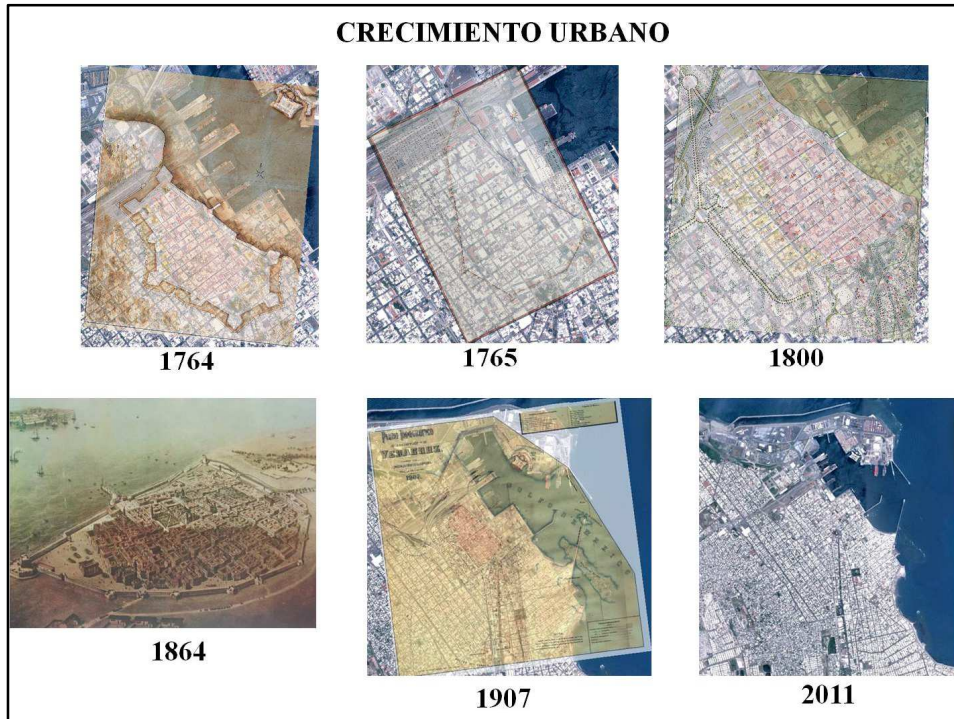


Figura 2 Regiones sismogénicas en el Estado de Veracruz.

### 3 MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA ZONA CONURBANA VERACRUZ-BOCA DEL RÍO

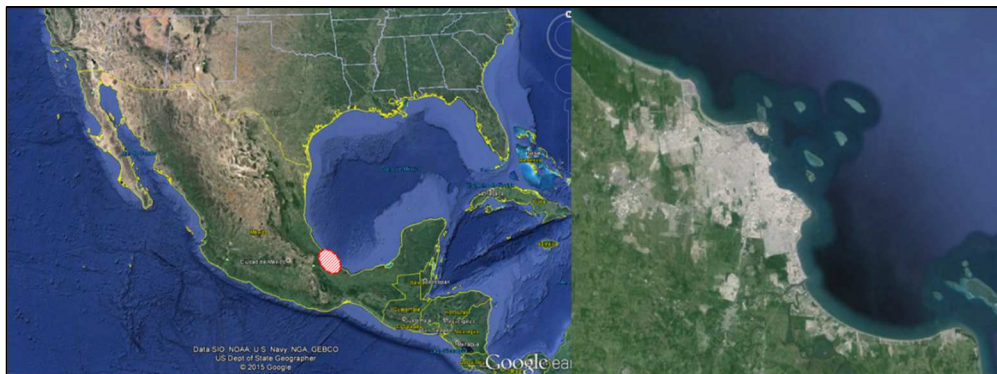
#### 3.1 Delimitación de la zona

En sus inicios, la ciudad de Veracruz (Figura 3) sufrió los embates de los piratas, por lo que fue protegida por una muralla de la que actualmente solo quedan vestigios. El tipo de construcciones era predominantemente de madera, por lo que se le llamó “ciudad de tablas”; las obras de mampostería (piedra múcar) eran escasas y estaban destinadas principalmente a sitios de culto religioso, de gobierno y edificaciones hospitalarias.



**Figura 3** Desarrollo Histórico de la Ciudad de Veracruz

La zona conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV) posee una población de más de 800,000 habitantes, es uno de los destinos turísticos y culturales más reconocidos y dispone de un puerto mercantil comercial de altura de los más importantes del país. Además mantiene un crecimiento acelerado en extensión, con inversiones importantes en construcciones cada vez más audaces. En contraste, y sin ser una zona de excepción, el Reglamento de Construcciones vigente no posee normas para el diseño sísmico que considere las condiciones locales, a pesar del peligro potencial expuesto (figura 4).



**Figura 4** Zona conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV).

Para delimitar la zona en estudio, se localizaron antiguos cauces de ríos y caudales, espejos de agua, suelos cenagosos, zonas de inundación, de relleno y áreas ganadas al mar (ahora dentro de la mancha urbana), donde el suelo puede

presentar características dinámicas especiales. Se consideraron además las características geotécnicas-geológicas y morfológicas, así como estudios preliminares de microzonificación sísmica (Lermo *et al* 2007). Se analizó su proyección de crecimiento de acuerdo a los programas oficiales, por lo que se observa una expansión industrial notoria hacia el suroeste y hacia el sur un gran crecimiento habitacional y turístico (Williams *et al.*, 2010a). Se atendieron también antecedentes sísmicos históricos, donde se identificaron los daños ocasionados en las construcciones de entonces.

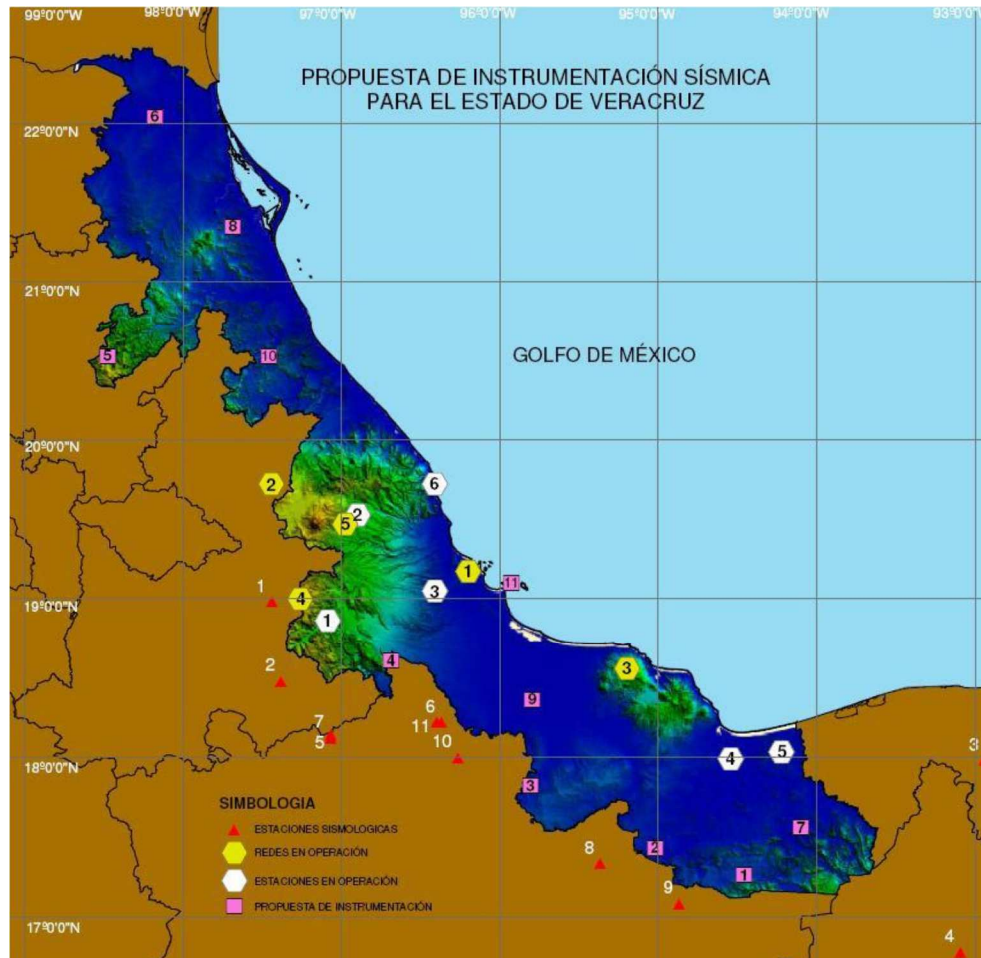
### 3.2 Red de instrumentación sísmica

En 1999, el Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana (IIUV), con el apoyo de fideicomisos como el Sistema de Investigación del Golfo de México (SIGOLFO), y los Fondos Mixtos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y el Gobierno del Estado de Veracruz Llave, así como la Secretaría de Educación Pública (SEP) a través del Programa de Mejoramiento al Profesorado (PROMEP), inicia diversos proyectos de investigación donde se adquiere el equipamiento para la red y estudios de prospección, así como para instrumentación de edificaciones. Con esta infraestructura, también se han realizado estudios preliminares similares en otras ciudades del Estado como: Coatzacoalcos, Poza Rica, Orizaba, San Andrés Tuxtla, Catemaco, Xalapa y Jáltipan. Actualmente la red cuenta con 8 equipos de registro sísmico: 2 acelerógrafos GSR-18 de Terra Technology, 2 Acelerógrafos Etna de Kinemétrics y 4 Sismómetros de banda ancha marca Guralp.

La instalación de la primera red de registro sísmico (William *et al.*, 2003) tiene como uno de sus principales objetivos la caracterización dinámica de los suelos, para elaborar un mapa de microzonificación sísmica, que nos permite identificar cómo los diferentes tipos de suelos pueden modificar la señal sísmica, amplificándola en varios órdenes de magnitud (efecto de sitio), y que pueden influir significativamente en la distribución de los daños en las construcciones de una zona. Por esto, las estaciones tienen la condición de temporales, a excepción de una estación de referencia (Rancho La Posta de la Facultad de Veterinaria en Veracruz) POVE. Ésta última, se encuentra en un lugar sin efecto de sitio, y sus registros sirven de referencia para estimar la forma de vibrar y la amplificación de las diferentes zonas.

### 3.3 Propuesta de instalación de una red en el Estado de Veracruz

La instrumentación en el Estado a principios del siglo XX, como se ha mencionado, inicia con la instalación de un sismógrafo Wiechert en una estación en la ciudad de Veracruz, que deja de funcionar en 1997. Sismos importantes que han ocurrido en Veracruz requieren de mayor información para ser analizados, por lo que con fundamento en los estudios previos descritos, se elaboró una propuesta de instrumentación (figura 5) para el monitoreo sísmico en el Estado de Veracruz y el Golfo de México (Riquer *et al.*, 2008).



**Figura 5** Propuesta de instrumentación sísmica para el estado de Veracruz (Cuadros rosados ubicación de las estaciones)

La propuesta, a la fecha parcialmente adoptada, persigue la optimización de recursos, y reconoce las redes y estaciones existentes, no solo en Veracruz, sino también en estados colindantes. Además pretende cubrir áreas de interés que están fuera de cobertura de la instrumentación instalada, para reunir evidencia que muestre la necesidad de permanencia de algunas estaciones temporales.

### 3.4 Monitoreo sísmico

La red ha registrado más de 1,000 sismos entre 2001 y 2014, la mayoría locales, del Golfo de México, intraplaca y de la zona de subducción, que comprende los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán y Colima principalmente. Se han colocado más de 20 estaciones temporales, en donde se pudieron medir sismos de diferentes fuentes y con diferentes tipos de suelo de la ZCV.

Para cada uno de los sismos registrados en los diferentes tipos de suelos de la ZCV se analizaron parámetros como: magnitud, epicentro y profundidad principalmente, y son procesados para contar con una base de datos confiable.

Con ésta se han podido determinar espectros de respuesta, funciones de transferencia, espectros de Fourier, acelerogramas, etc., para realizar los estudios mencionados en este trabajo (Riquer *et al.*, 2010).

### 3.5 Mapa de microzonificación sísmica

Para la estimación del efecto de sitio, se hizo uso del registro de microtemores (a través de vibración ambiental) en más de 400 puntos en la ZCV, interpretados mediante la razón espectral entre las componentes horizontales y la vertical de un mismo registro, conocida como Técnica de Nakamura (Williams *et al.*, 2008). La técnica resultó atractiva por la rapidez para obtener resultados; brindó una estimación burda de las amplificaciones del movimiento, por lo que éstas se validaron con los registros de sismos en los diferentes sitios. Con las funciones de transferencia empíricas promedio (FTEP) de cada punto se estimaron las frecuencias y períodos dominantes, y se agruparon de diversos puntos por sus formas espectrales en Familia de Formas Espectrales (FFE), dando como resultado tres zonas para la elaboración del mapa de microzonificación sísmica (Williams *et al.*, 2011). Estas familias espectrales (Riquer *et al.*, 2009a) se pueden observar en la figura 6, donde:

La Zona I, presenta FTE's totalmente planas con periodos dominantes entre 0.0 a 0.19 segundos, cuyos depósitos en su mayoría son conglomerados.

La Zona II, cuyos suelos son en su mayoría depósitos de dunas, sus familias espectrales, para las dos componentes horizontales presentan períodos dominantes entre 0.20 a 0.39 segundos.

La zona III, sus suelos son depósitos aluviales, y presentan períodos máximos espectrales entre 0.40 a 0.7 segundos.

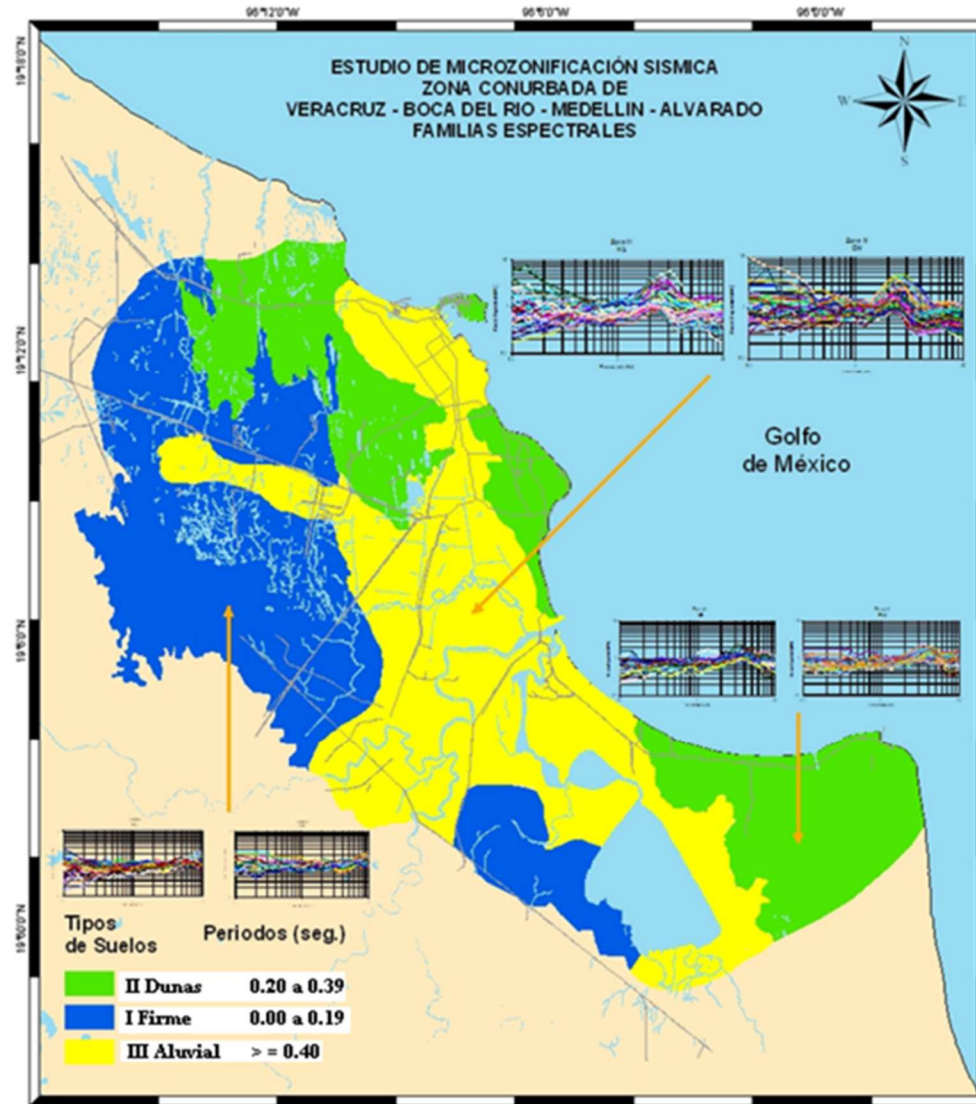


Figura 6 Microzonificación sísmica de la ZCV y familias de formas espectrales

## 4 MODELACIÓN DINÁMICA DE LOS TERRENOS DE LA ZCV

### 4.1 Criterios usados

La propagación de la señal sísmica en el basamento rocoso subyacente, se ve afectada en la superficie del suelo de desplante de las cimentaciones por las características del suelo. Esta modificación de la señal, influye directamente en el comportamiento de las construcciones ante el movimiento, y el disponer de una evaluación lo más precisa posible, nos permite incluir ventajas en la estructuración para mejorar su respuesta dinámica.

En la provincia mexicana, la modelación dinámica de los suelos representa un reto, y frecuentemente se omite, porque para obtener datos más estrictos, se

requieren estudios geofísicos de prospección, que implican un costo superior al que se puede hacer en construcciones de mediana y baja altura que son las más comunes. Por lo anterior, se recomienda que estos lineamientos sean contenidos en las normas locales, que a su vez definan los requisitos estructurales necesarios para fortalecer las capacidades sismorresistentes de las construcciones.

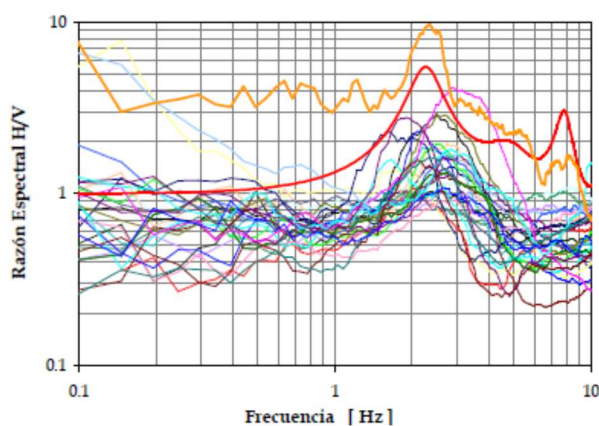
## 4.2 Modelo dinámico unidimensional del suelo

Para caracterizar dinámicamente los suelos en un sitio se ha estimado la distribución de la velocidad de ondas de corte de los diferentes estratos del suelo, a partir del cual se obtiene el perfil de velocidades de ondas de cortante y los espesores de los estratos; se aplicaron diversas técnicas de prospección procurando alcanzar máximas profundidades (Williams *et al.*, 2007).

Los métodos de prospección usados se basan en el análisis de ondas superficiales, y se dividen en dos grupos: métodos de fuente activa y métodos de fuente pasiva. El primero, utiliza una fuente artificial para crear el campo de ondas, generada por impactos al suelo. Dentro de este grupo se aplicaron las pruebas de refracción sísmica y el método “downhole”; en el primero la profundidad máxima alcanzada fue de 15 m por falta de energía, debido a la imposibilidad del uso de explosivos, por lo que se usó la generación manual de la señal. Las pruebas de “downhole” se vieron limitadas al equipo de perforación disponible, y alcanzaron 20 m de profundidad.

Los de fuente pasiva están basados en el uso de microtemores (ruido ambiental o ruido sísmico), cuyo contenido principal son ondas superficiales, causadas por la actividad humana y fenómenos naturales. Dentro de los métodos de fuente pasiva se utilizó el método SPAC (Spatial Autocorrelations Method), a través del cual se determina el modelo sísmico del subsuelo a partir de registros simultáneos de microtemores; en este caso se usaron arreglos de tres estaciones y el Método de Thompson-Haskell, que a partir de mediciones de vibración ambiental y las características geotécnicas desarrolla un modelo matemático representativo del sitio en estudio.

Con las FFE de cada zona de microzonificación, se aplicó el método de Hazkell y se determinó la función de transferencia teórica (FTT), definiéndose de esta manera el modelo estratigráfico del suelo (figura 7, tabla 1). Con registros sísmicos se aplicó la técnica estandar (SSR) para validar la amplificación dinámica y el periodo de vibración de cada zona.



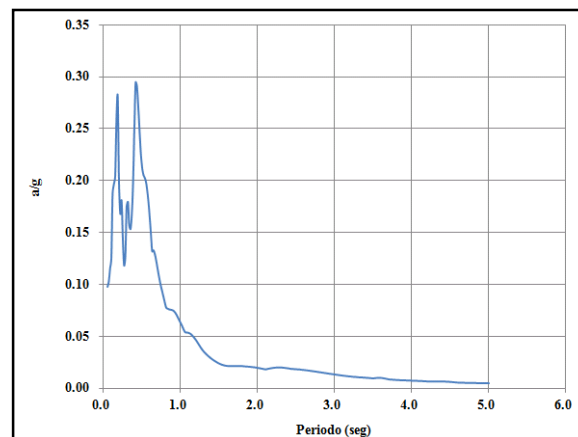
**Figura 7** Zona aluvial, líneas delgadas FTEP; línea gruesa roja FTT; línea gruesa naranja FTT con el método SSR.

**Tabla 1** Modelo estratigráfico del suelo (modelo matemático) para la zona aluvial.

| Nº   | H    | $\rho$              | $\beta$ | $\xi$ |
|------|------|---------------------|---------|-------|
|      | (m)  | (t/m <sup>3</sup> ) | (m/s)   | (l)   |
| 1    | 4.0  | 1.5                 | 103.0   | 0.04  |
| 2    | 5.0  | 1.6                 | 95.0    | 0.04  |
| 3    | 5.0  | 1.2                 | 264.0   | 0.04  |
| 4    | 4.0  | 1.7                 | 550.0   | 0.04  |
| 5    | 12.0 | 1.9                 | 350.0   | 0.04  |
| Base | -    | 2.3                 | 800.0   | 0.01  |

### 4.3 Espectro de Sitio para Diseño Sísmico

Con el modelo dinámico del suelo, las frecuencias y períodos dominantes del mapa de microzonificación, y los sismos registrados en la red de registro sísmico instalada en la ZCV, se han podido estimar espectros de respuesta de sitio para diseño sísmico (figura 8).

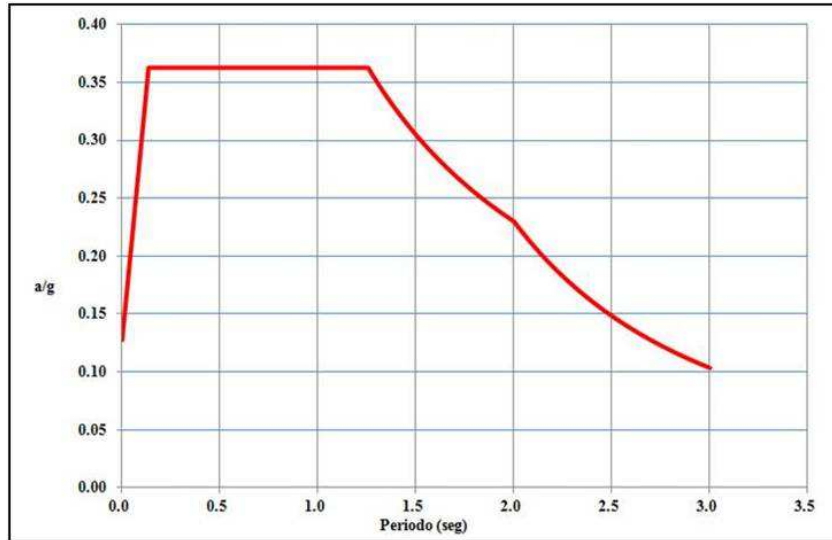


**Figura 8** Espectro de respuesta de sitio, para la zona aluvial del ZCV.

El Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad en su apartado de Diseño por Sismo (CFE-2008), es un instrumento frecuentemente utilizado en México ante la ausencia de normas sísmicas locales, y determina el espectro transparente de sitio para diseño sísmico mediante el programa PRODISIS (Williams *et al.*, 2010a). El programa parte de las coordenadas del sitio de interés con las aceleraciones en el basamento rocoso, obtenido mediante estudios fundamentados, entre otros datos, en registros sísmicos y leyes de atenuación. Genera un manto homogéneo equivalente con su velocidad efectiva de propagación de onda de cortante, y lo hace con información obtenida mediante estudios de prospección y el período dominante de la

microzonificación sísmica; se complementa con las propiedades geotécnicas como el peso volumétrico y espesores de los distintos estratos.

En la figura 9 se muestra para un sitio ubicado en la zona de dunas de la ZCV el espectro transparente para diseño sísmico, determinado con los criterios de CFE-2008 y el modelo dinámico del suelo, definido con los resultados de los trabajos anteriormente descritos.



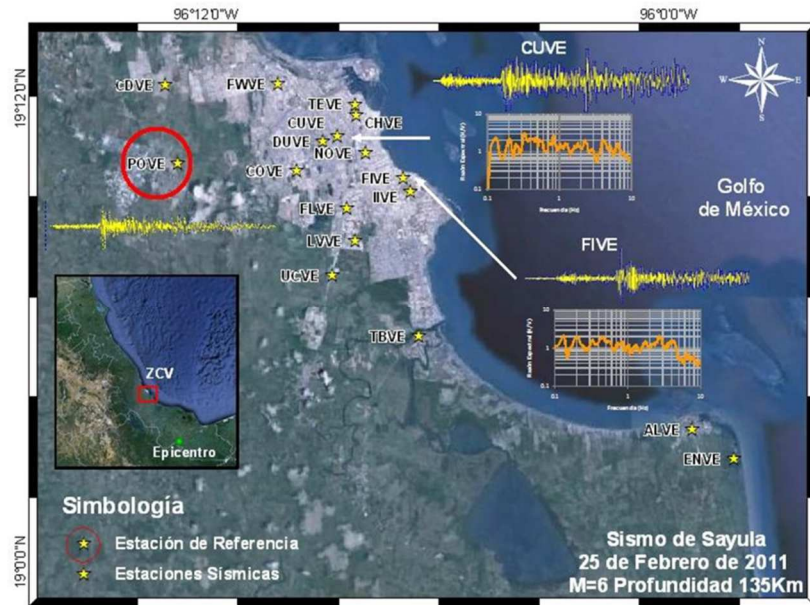
**Figura 9** Espectro transparente para diseño sísmico de la zona de dunas la ZCV.

## 5 ESTUDIOS DE RIESGO SÍSMICO.

### 5.1 Mapas de escenarios sísmicos.

Los mapas de escenarios sísmicos son una representación gráfica de una región o ciudad, donde se muestran las posibles intensidades sísmicas que se presentarán en un evento similar a otro de interés ocurrido. Estas representaciones son de mucha utilidad, no solo para la ingeniería sísmica y estructural, sino también para las autoridades y los organismos de protección civil, ya que sirven para conocer las zonas que probablemente presentarán mayores afectaciones ante el escenario planteado. Williams *et al.*, 2011 muestra mapas de intensidades sísmicas para la ZCV usando el sismo de Sayula del 25 de Febrero de 2011 ( $M_w = 6.0$ ); en la figura 10 se localiza el epicentro de este sismo, la ubicación relativa de la estación de referencia (POVE) y los sitios donde se encontraban las estaciones temporales que registraron dicho evento (CUVE y FIVE).

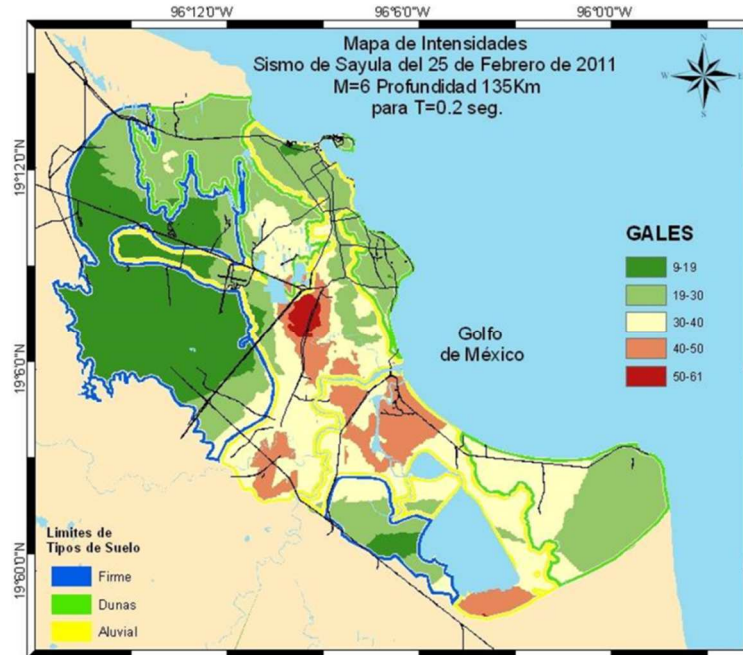
La figura 11 es un ejemplo de mapas de intensidades sísmicas del sismo de Sayula del 25 de Febrero de 2011 para un periodo de  $T=0.2$  segundos, donde se puede apreciar mediante una escala de colores, las zonas que presentaron mayores efectos ante este sismo. Estos mapas digitales se generan empleando Sistemas de Información Geográfica (SIG) con información georreferenciada (Pérez Torres *et al.*, 2013).



**Figura 10** Epicentro del sismo de Sayula y estaciones de registro sísmico de la ZCV. Acelerogramas de POVE, CUVE y FIVE y su relación espectral H/V. 2011.

## 5.2 Instrumentación de edificios.

Otra herramienta para evaluar el Riesgo Sísmico de un edificio o un determinado conjunto existente de edificios, es el estimar el comportamiento que éstos presentan ante un sismo importante. Se puede prever la respuesta de una edificación, mediante su instrumentación con equipos de registro sísmico, ya sean sismógrafos o acelerógrafos. Los instrumentos de registro se emplazan en puntos estratégicos del edificio y suelo de cimentación y se registran las velocidades o aceleraciones en estos puntos, ocasionadas por efectos antropogénicos (vibración ambiental). El registro puede hacerse durante un periodo corto (algunos minutos u horas) o durante un periodo más largo, hasta que ocurra un sismo de interés (varios días o meses).

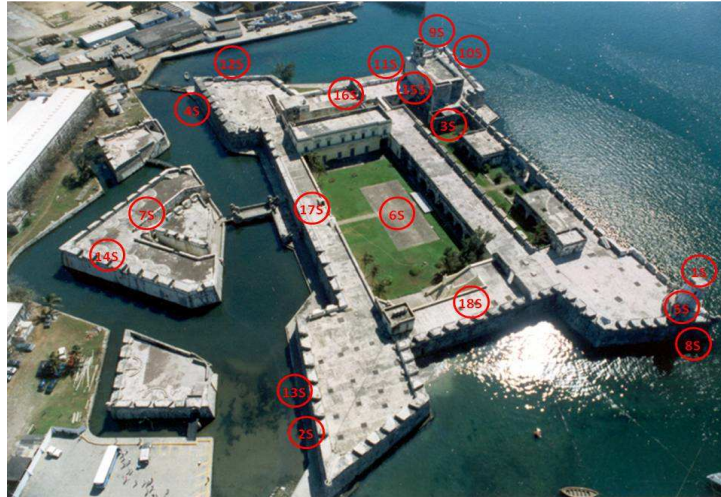


**Figura 11** Mapa de intensidades sísmicas en la ZCV para el sismo de Sayula del 25 de Febrero de 2011.

Como ejemplo de algunas de las experiencias de instrumentación en edificaciones en la ZCV se tiene:

- a) *Obtención del período fundamental de vibración de un edificio escolar, con estructura reticular de vigas y columnas de concreto reforzado.*- Usando un acelerógrafo Etna de Kinemétrics y aplicando cocientes espectrales, se obtuvieron los períodos fundamentales en el sentido longitudinal y transversal, del Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana (Ramírez, 2009). Estos periodos se compararon con diversos modelos matemáticos del mismo edificio, para estimar de manera más precisa, la interacción de los muros con los marcos de concreto. Se observó la utilidad de estos trabajos al evaluar la seguridad estructural del edificio cuando no se dispone de memoria de cálculo y planos estructurales, y de ser necesario, proponer refuerzos estructurales.
- b) *Comparación de método analíticos y experimentales en estructuras de mampostería.*- Los períodos fundamentales de vibración, obtenidos mediante la instrumentación, fueron comparados con diversos modelos matemáticos, que resultan de las metodologías aceptadas comúnmente en la práctica profesional; se analizaron diferencias entre estos métodos para determinar con cuáles se obtienen resultados similares a las mediciones (Williams *et al.*, 2010b), y poder forjarse un mejor criterio para su uso.
- c) *Estudios en monumentos históricos.* Otra utilidad de la instrumentación de edificios es la de conocer las características dinámicas de los edificios históricos, para evaluar su vulnerabilidad ante sismos. Con este fin, se instrumentó la Fortaleza de San Juan de Ulúa (Fig. 12). La estructura de tipo militar de gruesas paredes de “piedra múcar”, está ubicada en el islote de coral y relleno de San Juan de Ulúa frente a la ciudad de Veracruz, México, construida entre los siglos XVI al XVIII. Con

registros de vibración ambiental se estimaron en los suelos del entorno, el efecto de sitio y en los componentes de la estructura, el primer modo de vibrar. Estos estudios corresponden a la primera etapa de un proyecto que tiene como objetivo final, determinar la vulnerabilidad de la fortaleza ante efectos sísmicos y a otras vibraciones de origen natural y antropogénico (Williams *et al.*, 2013).



**Figura 12** Distribución de los sitios de registros de vibración ambiental dentro de la fortaleza y en el entorno.

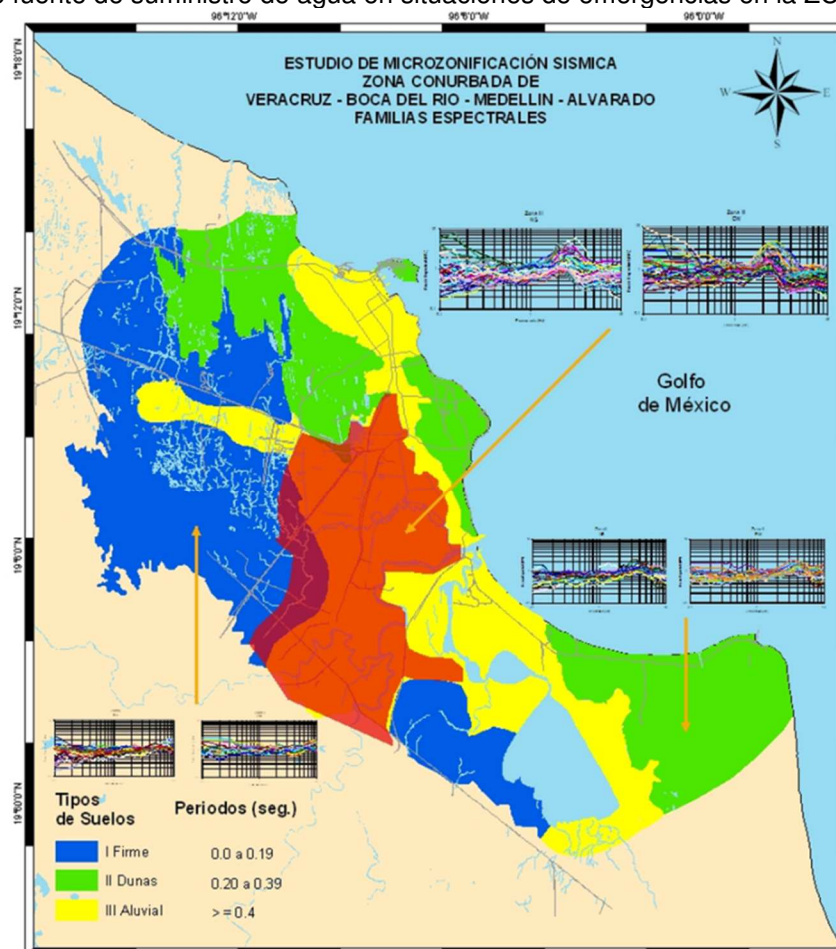
### 5.3 Estudios de vulnerabilidad sísmica.

Existen métodos que nos permiten conocer la vulnerabilidad estructural de una ciudad, colonia, o grupo de edificios, de manera rápida pero aproximada. Estos estudios se hacen con la finalidad de detectar aquellas edificaciones que presenten mayor daño o deterioro, para después aplicar un método más refinado, posiblemente complementado con instrumentación (Vargas *et al.*, 2012).

Se realizó un estudio sobre vulnerabilidad sísmica de estructuras estratégicas en la ZCV, y también se vincularon los sismos y las inundaciones que llegaron a ocasionar grandes desastres, debido al acelerado y desorganizado crecimiento de la ciudad, lo que expone a la población a mayores riesgos; se identificó la vulnerabilidad sísmica de estructuras consideradas como potencialmente estratégicas para atender a la población ante estos fenómenos. Se analizaron métodos cualitativos de evaluación de índices como el de Hirosawa, Benedetti y Petrini y otros; se adaptaron a las condiciones regionales y a la disponibilidad de la información necesaria. Para cada edificio se determinó el índice de vulnerabilidad y posteriormente se clasificaron de acuerdo con éstos.

Mediante Sistemas de Información Geográfica (figura 13) se efectuó un análisis íntegro de las zonas inundables y las que presentan vulnerabilidad sísmica, empleando el mapa de microzonificación sísmica de la ZCV y de las inundaciones ocasionadas por el huracán Karl en 2010 (Neri *et al.* 2012); se identificó una correlación directa entre las zonas de inundación y las de mayor amplificación del movimiento sísmico (Williams *et al.*, 2011). Con los estudios

mencionados, complementados con otros de la hidrogeología de la zona para identificar zonas con potencial para la extracción de agua de los mantos acuíferos, fue posible situar los sitios favorables para la extracción de agua subterránea como fuente de suministro de agua en situaciones de emergencias en la ZCV.



**Figura 13** Mapa de microzonificación sísmica con zona de inundación por el huracán Karl en rojo.

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La investigación sísmica en México ha progresado pero aun no es suficiente: la mayoría de las estaciones que registran estos eventos se encuentran en el Valle de México, así como a lo largo de las costas del océano pacífico; sin embargo, algunos lugares como Veracruz, que está sujeto a un peligro sísmico importante, tiene cobertura instrumental mínima. Aunado a ello se hace evidente la falta de profesionales e investigadores preparados en el área de ingeniería sísmica.

Es imprescindible elevar el número de estaciones de registro sísmico, y garantizar la operación permanente y confiable de las redes existentes, mediante el trabajo constante de equipos multidisciplinarios. Se le propone a las autoridades estatales correspondientes instaure una coordinación estatal de registro sísmico que concentre los datos de todos los instrumentos en el Estado de Veracruz, con la finalidad de homogeneizar la base de datos y con ello, brindar la posibilidad de crear análisis más precisos de sismicidad regional.

El crecimiento desordenado de las grandes ciudades en México en lo general, construye el riesgo sísmico al desconocer las características dinámica de los suelos ante un evento, y el estado de Veracruz no es la excepción; se añade a esto que los recursos financieros para la investigación son escasos, lo que redonda en la insuficiencia o inexistencia de lineamientos legales para la construcción con características deseables de sustentabilidad.

Los estudios aquí descritos deben ampliarse en la región y otros núcleos urbanos, para disponer de bases cada vez más sólidas para elaborar Reglamentos de Construcciones modernos para al Diseño por Sismo, y de esta manera contribuir a la disminución del riesgo.

## RECONOCIMIENTOS

Estos trabajos se han desarrollado gracias al financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), el Gobierno del Estado de Veracruz Llave y la Secretaría de Educación Pública mediante el Programa de Mejoramiento al Profesorado (PROMEP). Participaron, en las diferentes etapas, estudiantes del Instituto de Ingeniería y Facultades de Ingeniería de Veracruz y Coatzacoalcos de la Universidad Veracruzana, así como del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Se recibieron apoyos valiosos de información geológica-geotécnica de los profesionales regionales de destacada trayectoria, así como apoyo en la difusión de los trabajos a través del Colegio de Ingenieros Civiles de Veracruz.

## Referencias

- Comisión Federal de Electricidad (CFE-2008), "Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por Sismo", Instituto de Investigaciones Eléctricas. Cuernavaca, Morelos, México.
- Lermo Samaniego Javier y Limaymanta Mendoza, Felicita Marlene. (2007). Uso de las Funciones de Transferencia Empíricas (HNVR) obtenidas con microtemores para construir mapas con la clasificación de los terrenos de cimentación para diseño sísmico. XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero, México.
- Lermo Samaniego Javier, Limaymanta Mendoza Felicita Marlene, Williams Linera Francisco, Riquer Trujillo Guadalupe y Leyva Soberanis Regino. (2009). Land characterizing for seismic design in the urban zone of Veracruz-Boca del Río, México (ZCV). 8th International Workshop on Seismic Microzoning Risk Reduction. Almería, Spain
- Leyva Soberanis Regino, Williams Linera Francisco, Riquer Trujillo Guadalupe y Lermo Samaniego Javier. (2009). Regiones sismogénicas de mayor peligro sísmico para el estado de Veracruz. XVII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Puebla, Puebla, México.
- Leyva Soberanis Regino, Williams Linera Francisco y Riquer Trujillo Guadalupe. (2010). Regiones sismogénicas de mayor peligro sísmico para el estado de Veracruz. Congreso Internacional de AcademiaJournals.com. Tuxtla Gutierrez, Chiapas, México. pp.78-84
- Neri Flores Iris, Riquer Trujillo Guadalupe, Williams Linera Francisco, Leyva Soberanis Regino, Montes Carmona Ma. Estela, Rivera Baizabal Roberto y Lermo Samaniego Javier. (2012). Zonas de abastecimiento de agua y albergues temporales en inundaciones y terremotos. Las Inundaciones de 2010 en Veracruz. Vulnerabilidad y adaptación. pp. 60 a 105.
- Pérez Torres Sara del Rosario. (2009). Catalogo sísmico instrumental del Estado de Veracruz (1910-2008). Tesis de Licenciatura para obtener el título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, Región Veracruz-Boca del Río de la Universidad Veracruzana. Boca del Río, Veracruz, México.
- Pérez Torres Sara del Rosario, Williams Linera Francisco, Riquer Trujillo Guadalupe, Leyva Soberanis Regino, Rivera Baizabal Roberto, Neri Flores Iris y Vargas Colorado, Alejandro. (2013). Microzonificación Sísmica y Generación de Mapas de Intensidades en la Zona Conurbada Veracruz – Boca del Río Mediante la Aplicación de Sistemas de Información Geográfica. XIX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica Boca del Río, Veracruz, México.
- Ramírez Gamboa Esteban. (2009). Determinación teórica y experimental de la respuesta dinámica de un edificio. Tesis de Licenciatura para obtener el título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, Región Veracruz-Boca del Río de la Universidad Veracruzana. Boca del Río, Veracruz, México.
- Riquer Trujillo Guadalupe, Williams Linera Francisco, Lermo Samaniego Javier, Leyva Soberanis Regino, Neri Flores Iris y Santamaría López Jesús. (2008). Ampliación de la red de registro sísmico basada en una regionalización

sismotectónica preliminar del Estado de Veracruz. XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Boca del Río, Veracruz, México.

Riquer Trujillo Guadalupe, Williams Linera Francisco, Leyva Soberanis Regino, Lermo Samaniego Javier, Vargas Colorado Alejandro, Guzmán Ventura Juan A., Trejo Molina Francisco de J. y Zamora Hernández Abigail; (2009a). Estudios del peligro sísmico y reducción del riesgo en las construcciones en Veracruz, Ver., México. Congreso de Investigación de AcademiaJournals.com. Boca del Río, Veracruz, México. pp. 19-26.

Riquer Trujillo Guadalupe. Williams Linera Francisco, Leyva Soberanis Regino y Lermo Samaniego Javier. (2009b). Ampliación de la red de registro sísmica del Estado de Veracruz fundamentada en una propuesta de regionalización sismotectónica. III Congreso Internacional de Ciencias, Artes, Tecnología y Humanidades. Coatzacoalcos, Veracruz, México. pp. 785-793

Riquer Trujillo Guadalupe, Williams Linera Francisco, Leyva Soberanis Regino y Pérez Torres Sara. (2010). "Reducción del riesgo sísmico en las construcciones del Estado de Veracruz, México". X encuentro iberoamericano de mujeres ingenieras, Arquitectas y agrimensoras; 5º congreso de la asociación mexicana de Arquitectas y urbanistas. Boca del Río, Veracruz, México. pp 1-15

Vargas Colorado Alejandro, Williams Linera Francisco, Riquer Trujillo Guadalupe, Leyva Soberanis Regino, Pérez Torres Sara y Rivera Baizabal, Roberto. (2012). Estudios de Vulnerabilidad Sísmica Preliminar de Estructuras Estratégicas en La Zona Conurbada de Veracruz-Boca del Río, México. XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural Acapulco, Guerrero, México.

Williams Linera Francisco, Riquer Trujillo Guadalupe, Leyva Soberanis Regino y Torres Morales Gilbert (2003). Red acelerográfica de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. León, Guanajuato, México

Williams Linera Francisco, Limaymanta Mendoza Felicita Marlene, Riquer Trujillo Guadalupe, Leyva Soberanis Regino, Lermo Samaniego Javier. (2007). Clasificación Dinámica de Terrenos de Cimentación con Fines de Diseño Sísmico en la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV). XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero, México.

Williams Linera Francisco, Riquer Trujillo Guadalupe; Leyva Soberanis Regino, Vargas Colorado Alejandro, Zamora Hernández Abigail, Lermo Samaniego Javier Francisco y Limaymanta Mendoza Felicita Marlene. (2008). Estudios para la reducción de daños por sismos en las construcciones del estado de Veracruz. XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Boca del Río, Veracruz, México.

Williams Linera Francisco, Riquer Trujillo Guadalupe, Leyva Soberanis Regino, Lermo Samaniego Javier Francisco y Limaymanta Mendoza Felicita Marlene. (2009). Caracterización dinámica de suelos para la reducción del riesgo sísmico en las construcciones del Estado de Veracruz. III Congreso Internacional de Ciencias, Artes, Tecnología y Humanidades. Coatzacoalcos, Veracruz, México. pp. 794-803

Williams Linera Francisco, Riquer Trujillo Guadalupe, Leyva Soberanis Regino, Lermo Samaniego Javier Francisco, Pérez Torres Sara y Rivera Baizabal Roberto.

(2010a). Espectros de diseño sísmico para las construcciones del Estado de Veracruz de acuerdo a CFE-2008. XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. León, Guanajuato, México.

Williams Linera Francisco, Riquer Trujillo Guadalupe y Leyva Soberanis Regino. (2010b). Métodos de análisis de estructuras de mampostería: teórico y experimental. Congreso Internacional de AcademiaJournals.com. Tuxtla Gutierrez, Chiapas, México. pp. 85-91

Williams Linera Francisco, Lermo Samaniego Javier Francisco, Sanchez-Sesma, Francisco J., Riquer Trujillo Guadalupe, Leyva Soberanis Regino, Pérez Torres Sara y Rivera Baizabal Roberto. (2011). Mapas De Intensidades Sísmicas en la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV), México, para el Sismo de Sayula del 25 de Febrero de 2011 (Mw6.0). XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Aguascalientes, Aguascalientes, México.

Williams Linera, Francisco, Vargas Colorado Alejandro, Leyva Soberanis Regino, Riquer Trujillo Guadalupe, Lermo Samaniego Javier Francisco, Sanz Molina, Sara y Rivera Baizabal Roberto (2013). Determinación de las Propiedades Dinámicas de la Fortaleza de San Juan de Ulúa. XIX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Boca del Río, Veracruz, México.