

## ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LA CD. DE COATZACOALCOS, VER. Y ESTUDIOS PRELIMINARES DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

Juan A. Guzmán Ventura<sup>1</sup>, Francisco Williams Linera<sup>2,3</sup>, Guadalupe Riquer Trujillo<sup>2,3</sup>, Regino Leyva Soberanis<sup>2,3</sup>, Javier Lermo Samaniego<sup>4</sup>, Francisco de J. Trejo Molina<sup>1</sup>.

### RESUMEN

Se presenta los avances realizados en la zona para la clasificación del tipo de terreno de cimentación para diseño sísmico en Coatzacoalcos. Se registraron microtremores en 60 puntos, y se les aplicó la técnica de Nakamura para obtener las funciones de transferencias empíricas promedios (FTEP). Con ello se trazó un mapa preliminar de microzonificación con 2 zonas, que agrupa familias de formas espectrales. Se partió de una propuesta de zonificación geotécnica que delimita 4 zonas: 1) Zona Geotécnica Alta, 2) Zona Geotécnica Baja, 3) Zona Geotécnica de Transición y 4) Zona Geotécnica Costera.

### ABSTRACT

One appears the advances realised in the zone for the classification of the type of land of laying of foundations for seismic design in Coatzacoalcos. Microtremores in 60 points were registered, and the technique of Nakamura was applied to them to obtain the empirical transition functions averages (FTEP). In this way a preliminary map of microzoning with 2 zones drew up, that groups families of spectral forms. It was left from a proposal of geotechnical zoning that delimits 4 zones: 1) High Geotechnical zone, 2) Geotechnical Zone Loss, 3) Geotechnical Zone of Transition and 4) Coastal Geotechnical Zone.

### INTRODUCCIÓN

Los desastres sísmicos, como sucesos infaustos, invariablemente han sorprendido a la población del estado de Veracruz con escasa o ninguna medida preventiva. Un Reglamento de Construcciones que incluya normas para el diseño sísmico, es una herramienta de gran valor. El reglamento vigente para el Estado de Veracruz-Llave (1979) no cuenta con normas técnicas para el diseño sísmico que considere las condiciones dinámicas locales, por ello, es práctica común recurrir al Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE (1993), el cual reconoce la importancia de los estudios de microzonificación sísmica para identificar los efectos de sitio.

---

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Civil, Región Coatzacoalcos, Universidad Veracruzana, Av. Universidad Km 7.5 Col. Sta. Isabel, C.P. 96538, Coatzacoalcos, Ver., [jagv77@yahoo.com.mx](mailto:jagv77@yahoo.com.mx), [ftrejomolina@yahoo.com.mx](mailto:ftrejomolina@yahoo.com.mx).

<sup>2</sup> Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana, Av. S. S. Juan Pablo II, s/n, Campus Mocambo, Fracc. Costa Verde, C.P. 94294, Boca del Río, Ver., [franciscowilliamslinera@yahoo.com.mx](mailto:franciscowilliamslinera@yahoo.com.mx), [guadaluperiquer@yahoo.com.mx](mailto:guadaluperiquer@yahoo.com.mx), [reginol@yahoo.com.mx](mailto:reginol@yahoo.com.mx).

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería Civil. Región Veracruz, Universidad Veracruzana, Calzada Adolfo Ruiz Cortines s/n, Fracc. Costa Verde, C.P. 94294, Boca del Río, Ver.

<sup>4</sup> Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Torre de Ingeniería, 2do. Piso, Cd. Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, México, D.F. [jles@pumas.iingen.unam.mx](mailto:jles@pumas.iingen.unam.mx)

Los trabajos que aquí se presentan, tienen como objetivo obtener parámetros que conduzcan a la elaboración de reglamentos de construcciones modernos para el Estado de Veracruz y sus municipios. Antecedes a esta presentación algunas tareas de investigación financiadas por Fondos Mixtos CONACYT-Gobierno del Estado de Veracruz (FOMIX), donde se han estudiado entre otras cosas la actividad sísmica del estado y una metodología viable de clasificación del tipo de terreno de cimentación para el diseño sísmico.

Por la ubicación e importancia de la ciudad de Coatzacoalcos, se describen a continuación los trabajos preliminares de zonificación geotécnica y microzonificación sísmica en función del período dominante; estudios encausados a la clasificación del tipo de terreno para el diseño sísmico de cimentaciones.

La ciudad de Coatzacoalcos se encuentra ubicada en el del Istmo de Tehuantepec, en el Golfo de México, en la parte limítrofe sudeste del Estado de Veracruz, en las coordenadas  $18^{\circ} 08' 16''$  latitud norte,  $94^{\circ} 26' 07''$  longitud oeste. Es un municipio costero de las llanuras del sotavento por lo que su suelo presenta grandes planicies. Cuenta con una extensión aproximada de  $471.16 \text{ Km}^2$ , y una densidad poblacional de cerca de 300 000 habitantes. Es una ciudad que se gesta desde una aldea al margen del río Coatzacoalcos, y se transforma en Puerto en 1826. Prospera a ciudad en 1911, recuperando su nombre original de Coatzacoalcos en 1936, después de ser llamada Puerto México en 1900 y antes de eso Villa del Espíritu Santo en 1522.

Región de gran riqueza representada por minerales como el azufre, que cuenta además con yacimientos de petróleo y gas natural, sin menospreciar su potencial turístico y cultural. Cuenta con una infraestructura de obra civil que ha evolucionado desde chozas y casas de madera hasta construcciones originales modernas, en su mayoría de mampostería, concreto y acero. En esta región, PEMEX Petroquímica elabora el 85% de sus productos, distribuidos en los parques industriales de Cosoleacaque, Cangrejera, Morelos y Pajaritos, actividad que consigue que el progreso y la tecnología se den cita en esta ciudad. Obras majestuosas como los puentes Coatzacoalcos I y el II destacan en la región, sin olvidar el proyecto del túnel sumergido, que será una moderna vía de comunicación para la ciudad, el puerto y el corredor industrial. Se puede observar un crecimiento importante que alienta la inversión, y que augura obras civiles cada vez más audaces.

La zona en estudio quedó delimitada tomando en consideración la densidad de las construcciones (ver figura 1), y se localizaron causes de ríos y espejos de agua, pues en sus cercanía el suelo puede presentar características dinámicas especiales.

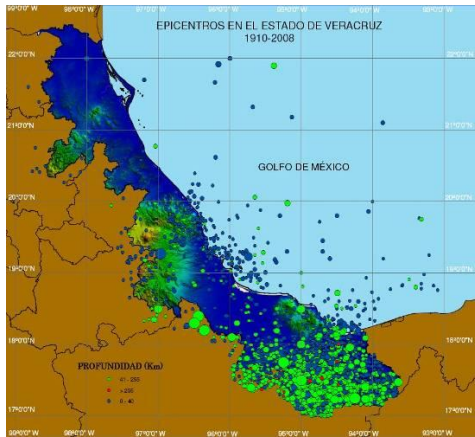
Dado que el efecto de sitio depende de las características geotécnicas, geológicas, hidráulicas y morfológicas, se procedió a consultar la bibliografía existente y generar un mapa con una propuesta de zonificación geotécnica, en el cual se localizan las diferentes zonas de interés.



Figura 1 Zona de estudio

## SISMICIDAD Y REGIONES SISMOTECTÓNICAS

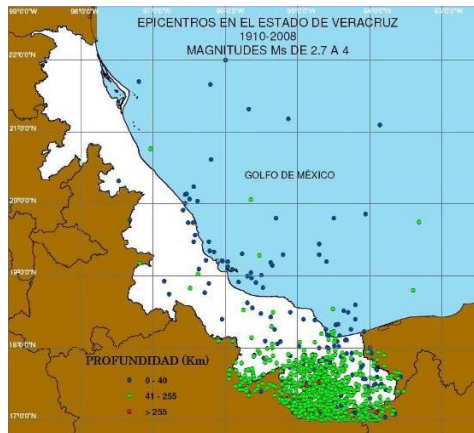
Se puede apreciar una gran actividad sísmica en el centro y sur del Estado Veracruz, haciéndose más disperso al norte, aunque por la escasa instrumentación en esta última región, es posible que no sea representativa de su potencial (Figuras 2a a 2f).



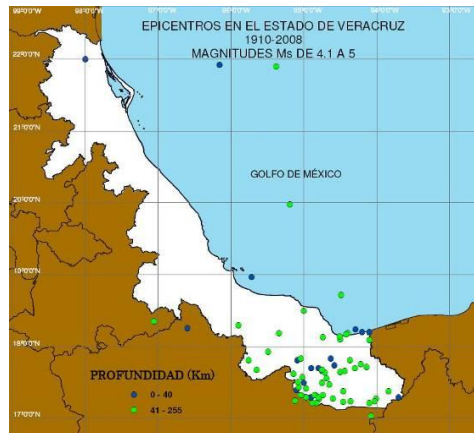
**Figura 2a Epicentros registrados entre 1910 y 2008**



**Figura 2b Magnitudes  $0 \leq M_s \leq 2.6$**



**Figura 2c Magnitudes  $2.7 \leq M_s \leq 4.0$**



**Figura 2d Magnitudes  $4.1 \leq M_s \leq 5.0$**



**Figura 2e Magnitudes  $5.1 \leq M_s \leq 6.0$**



**Figura 2f Magnitudes  $6.1 \leq M_s \leq 7.5$**

Las figuras 2d a 2f, muestra, en el sur del Estado, eventos cuya profundidad y magnitud representan un peligro para lugares densamente poblados. De acuerdo a la distribución de los sismos registrados, se puede decir que al sur del estado se han presentado sismos profundos productos de la subducción de la placa del Pacífico, pero existen sismos de poca profundidad que no corresponden a los límites de la subducción, asociados a fuentes superficiales en el interior del continente (De la Orta et al., 1989).

Con base en el análisis de la sismicidad y la fisiografía del Estado, se hizo una propuesta de regiones sismotectónicas, tomando consideraciones como: la localización hipocentral de eventos de características similares, las características tectónicas comunes de la zona, mecanismos focales y/o patrones de fallamiento (Leyva, R., et al., 2009), 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. Una referencia relevante fue el trabajo realizado por R. Zúñiga et. al. "Peligro Sísmico en Latinoamérica y el Caribe", 1997, de donde se tomó la nomenclatura para esta propuesta (ver figura 3).



**Figura 3 Regiones Sismotectónicas**

Por lo tanto la ciudad de Coatzacoalcos se encuentra en el límite de las regiones sismogénicas NAM-IN3 y GMX (Figura 3), la primera de mayor peligrosidad, como se puede observar en las figuras 2a a 2f, tanto por su gran cantidad de sismos como por su magnitud. Como ejemplos tenemos los sismos del 11 de agosto de 1948, con una profundidad  $h=100$  km, y  $M_s=6.7$ ; y del 26 de agosto de 1959, con una profundidad superficial (20 km) y magnitud de  $M_w=6.4$ , conocida como el temblor de Jáltipan.

A continuación se mencionarán las características tectónicas de las regiones donde se encuentra la ciudad de Coatzacoalcos (Leyva, R., et al., 2009):

### **REGIÓN NAM**

Es una zona con una mayoría de eventos intraplaca y se relacionan con la placa Norteamericana (NOAM) someros ( $h < 40$  km) y magnitud  $M_s < 4$ .

### **REGIÓN IN3**

Esta región corresponde a la extensión a profundidad de la zona SUB4 (Zúñiga et al., 1997). Comprende sismos, principalmente del tipo de fallamiento normal, de profundidad intermedia a profunda dentro de la placa de subducción. La densidad de sismicidad umbral es mucho mayor que en la vecina zona IN2. Zona cercana a la de transición de la subducción de Cocos por debajo de NOAM, a subducción bajo la placa del Caribe.

### **REGIÓN GMX**

Es una región con eventos intraplaca someros, aunque con una sismicidad registrada escasa no deja de ser importante por su cercanía a ciudades densamente pobladas, así como de gran peligro para plataformas marinas.

## **ZONIFICACIÓN GEOTECNICA**

En la zona urbana de la ciudad de Coatzacoalcos (ver figura 1) se pueden llegar a presentar cuatro zonas geotécnicas (Astudillo, 2009): Zona Geotécnica Alta (ZGA), Zona Geotécnica Baja (ZGB), Zona Geotécnica de Transición (ZGT) y Zona Geotécnica Costera (ZGC). Estas cuatro zonas geotécnicas se muestran en la Figura 4, y a continuación se describirán sus principales características:

### **ZONA GEOTÉCNICA ALTA (ZGA)**

La ZGA, está limitada al sur por la vía del ferrocarril, desde los límites del Municipio de Cosoleacaque, hasta donde actualmente inicia la calle General Anaya a la altura de la colonia “Teresa Morales”; a partir de ese punto sigue una ruta paralela a la calle General Anaya, hasta llegar al río Coatzacoalcos. Anteriormente esta ruta era la que seguía el ferrocarril. Al norte está limitada por una línea paralela a la línea de costa.

Esta zona está formada por arenas de dunas y médanos en espesores que van de los 15 m a 30 m, cuya compacidad, como es su propia característica dado su origen eólico, aumenta con la profundidad. La compacidad varía de muy suelta a suelta desde la superficie hasta aproximadamente 4 a 6 m de profundidad, después se incrementa hasta adquirir la mediana compacidad en un espesor de aproximadamente 10 metros para llegar alrededor de 15 metros de profundidad. Finalmente la compacidad es alta entre los 15 y 30 m de profundidad.

La compacidad de los suelos de esta zona parece estar íntimamente relacionada con la presencia del agua freática, ya que a partir de la profundidad en que ésta se detectó, dicha compacidad se incrementa.

Es escasa la información de los suelos que subyacen a las arenas de la ZGA; sin embargo, se infiere que subyacen los suelos arcillosos y limosos de origen marino o aluvial a partir de los 20 metros de profundidad.

## ZONA GEOTÉCNICA BAJA (ZGB)

Esta zona es la que se ubica al sur y está limitada por la demarcación sur de la ZGA y la margen derecha del río Calzadas; hacia el oriente, su frontera es la margen izquierda del río Coatzacoalcos.

En esta zona se tiene una secuencia de depósitos principalmente de origen fluvial, constituidos en la parte superficial por arenas uniformes, muy sueltas a medianas, con espesores pequeños (de 2 a 4 m), a las que subyacen arenas poco limosas, limos arenosos de baja plasticidad, arenas limpias, medias a finas de compacidad mediana a compacta y arcillas limosas de plasticidad media a alta con una apreciable cantidad de materia orgánica; abajo, y a profundidades del orden de 18 m, se encuentran arenas limpias y arenas poco limosas con bolsas de arcilla; esta secuencia se encuentra en los sondeos hechos a lo largo de la margen izquierda del río Coatzacoalcos. El origen fluvial de estos depósitos es evidente ya que esta zona forma parte de la zona de inundación de los ríos “Calzadas” y “Coatzacoalcos”.

Un perfil estratigráfico representativo de la zona es el que sigue: En la parte superior se encuentran arcillas limosas blandas en espesores aproximados de dos metros; subyaciéndolas hay limos y limos arenosos de baja plasticidad en espesores variables de 5 a 11; a continuación se encuentra un lecho arcillo-limoso constituido por materiales de plasticidad media a alta con un espesor aproximado de 15 m, en el cual quedan alojadas algunas lentes de arenas finas limpias o bien de arenas poco limosas o poco arcillosas cuyos espesores son del orden de 2 m. A profundidades de 22 a 28 m aparece un manto de arena cuarzosa de compacidad alta que se supone perteneciente a una formación antigua de origen marino.

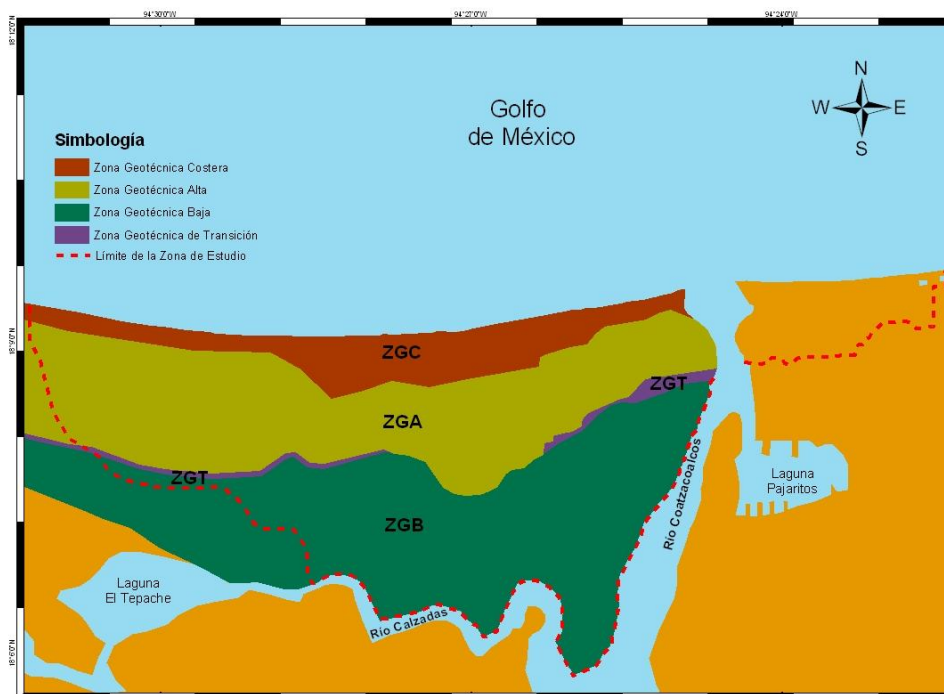


Figura 4 Zonificación Geotécnica

## ZONA GEOTÉCNICA DE TRANSICIÓN (ZGT)

Esta zona, como en todos los intentos de zonificación, es la más complicada. Realmente es difícil precisar las fronteras que la limitan; sin embargo en un intento por hacerlo – y que se considera necesario- se mencionará que es una delgada franja de un promedio aproximado de 100 metros de ancho, ubicada entre la ZGA y la ZGB solo interrumpida en el sitio donde se eleva la parte mas alta de la zona urbana que está comprendida entre la col. Palma Sola a la altura de la calle Úrsulo Galván y la col. Emiliano Zapata, a la altura de la calle Pedro Infante.

En esta zona de transición, el espesor de arenas de origen eólico existente también en la ZGA se reduce entre 4 y 12 metros; suprayaciendo a estratos cohesivos muy blandos o arenosos sueltos que se alternan hasta llegar a los 20 m de profundidad; a partir de la cual la resistencia del suelo se incrementa, a diferencia del incremento significativo de resistencia en la ZGB que ocurre a los 35 metros de profundidad, aproximadamente.

## ZONA GEOTÉCNICA COSTERA (ZGC)

Es una franja de un ancho promedio de 200 metros en el poniente y de unos 500 metros en la zona oriente.

Es necesario delimitar esta zona, tanto por los niveles topográficos como por las propiedades geotécnicas de los estratos de suelo encontrados. También esta formada por dunas y médanos al igual que la ZGA, solo que aquí se aprecia claramente que las arenas sueltas tienen un espesor menor (entre 2 y 4 metros). Para profundidades mayores la compacidad del suelo se incrementa rápidamente. Este incremento en la compacidad del suelo, se atribuye a la cercanía y el efecto dinámico de las aguas del mar y como se observó en la ZGA, el nivel de aguas freáticas que en esta zona es somero.

## MICROZONACION SISMICA PRELIMINAR

### MONITOREO SÍSMICO

Con la finalidad de conocer la amplificación real de los terrenos en etapas posteriores, se instaló una estación temporal de registro sísmico (FICO), en la Facultad de Ingeniería, Región Coatzacoalcos de la Universidad Veracruzana, la cual próximamente será reubicada en otros sitios de interés. El equipo de registro usado es un sismómetro de banda ancha digital marca Guralp modelo GURCMG-6TD (ver figura 5) y los registros son procesados para obtener sus acelerogramas en las tres direcciones de registro (ver figura 6).

Los sismos registrados en esta primera etapa son presentados en la Tabla 1:

**Tabla 1 Sismos registrado en la estación temporal FICO**

Evento	Fecha	Hora	Lat	Long	Prof (Km)	Mag	Zona.
1	26/05/2009	00:10:01	16.14	-101.08	20	4.4	129 km al SUROESTE de TECPAN, GRO
2	26/05/2009	00:42:41	16.15	-101.32	30	4.4	139 km al SUROESTE de TECPAN, GRO
3	26/05/2009	14:13:47	15.86	-95.65	10	4.6	52 km al ESTE de CRUCECITA, OAX
4	27/05/2009	19:23:44	14.33	-92.79	16	4.6	79 km al SUROESTE de CD HIDALGO, CHIS
5	30/05/2009	10:16:37	16.9	-94.84	100	4.2	22 km al ESTE de MATIAS ROMERO, OAX
6	02/06/2009	15:23:21	17.28	-95.41	117	4.2	60 km al NOROESTE de MATIAS ROMERO, OAX
7	07/06/2009	16:26:47	16.15	-93.32	135	5	11 km al SUROESTE de VILLAFLORES, CHIS
8	13/06/2009	00:20:11	17.02	-94.89	99	4.1	23 km al NORESTE de MATIAS ROMERO, OAX
9	20/06/2009	18:42:07	16.35	-94.25	12	4.4	40 km al NOROESTE de ARRIAGA, CHIS
10	24/06/2009	17:36:31	17.27	-94.09	188	4.8	71 km al SUR de LAS CHOAPAS, VER
11	26/06/2009	02:41:23	17.56	-95.19	107	4.2	43 km al SUROESTE de SAYULA DE ALEMAN, VER
12	26/06/2009	03:56:19	17	-95.48	98	4	49 km al NOROESTE de MATIAS ROMERO, OAX

**Tabla 1 Sismos registrado en la estación temporal FICO (cont.)**

Evento	Fecha	Hora	Lat	Long	Prof (Km)	Mag	Zona.
13	03/07/2009	06:00:11	25.2	-109.44	10	6	80 km al SUROESTE de LOS MOCHIS, SIN
14	03/07/2009	19:20:40	16.69	-95.15	100	4.1	15 km al NOROESTE de CD IXTEPEC, OAX
15	04/07/2009	20:15:41	17.07	-95	130	4.3	23 km al NORTE de MATIAS ROMERO, OAX
16	05/07/2009	10:02:48	16.23	-94.97	10	4.2	23 km al SUR de JUCHITAN DE ZARAGOZA, OAX
17	06/07/2009	19:33:22	17.29	-94.77	123	4	54 km al NORESTE de MATIAS ROMERO, OAX
18	17/07/2009	09:33:42	15.5	-98.99	30	4.3	137 km al SUROESTE de PINOTEPA NACIONAL, OAX
19	17/07/2009	09:45:40	15.63	-99.13	30	4.2	131 km al SUR de SAN MARCOS, GRO
20	30/07/2009	05:18:39	16.01	-94.95	18	4	32 km al SURESTE de SALINA CRUZ, OAX
21	31/07/2009	05:56:08	17.23	-94.22	153	4.2	77 km al SUR de LAS CHOAPAS, VER
22	02/08/2009	11:40:15	14.01	-93.1	20	4.2	126 km al SUROESTE de CD HIDALGO, CHIS
23	03/08/2009	13:00:02	28.48	-112.24	10	6.9	84 km al SUROESTE de M ALEMAN(LA DOCE), SON
24	03/08/2009	13:40:54	29.42	-113.5	10	5.9	171 km al NORESTE de GUERRERO NEGRO, BCS
25	05/08/2009	04:13:33	29.15	-112.15	15	5.5	74 km al NOROESTE de M ALEMAN(LA DOCE), SON
26	05/08/2009	22:59:24	16.92	-92.2	124	4.5	11 km al OESTE de OCOSINGO, CHIS
27	09/08/2009	09:00:37	17.54	-94	10	3.8	42 km al SUR de LAS CHOAPAS, VER
28	11/08/2009	15:03:13	14.25	-93.25	20	4.2	127 km al SUROESTE de CD HIDALGO, CHIS
29	11/08/2009	19:25:45	14	-93.33	20	4.4	147 km al SUROESTE de CD HIDALGO, CHIS
30	13/08/2009	21:17:20	17.63	-95.08	141	4.4	30 km al SUROESTE de SAYULA DE ALEMAN, VER
31	15/08/2009	08:22:45	18.06	-100.67	55	5.4	33 km al SUR de CD ALTAMIRANO, GRO
32	15/08/2009	23:44:01	17.15	-94	182	4.1	58 km al NOROESTE de CINTALAPA, CHIS
33	18/08/2009	13:03:53	17.06	-94.94	125	4.1	23 km al NORESTE de MATIAS ROMERO, OAX
34	18/08/2009	13:59:39	16.4	-94.74	67	4.2	13 km al SURESTE de UNION HIDALGO, OAX
35	26/08/2009	17:43:55	14.53	-94.02	6	4.8	154 km al SUROESTE de PIJIJAPAN, CHIS

**Figura 5 Estación temporal FICO**

SISMO 14 DE AGOSTO DE 2009 (GMT)

Estación:	FICO (Facultad de Ingeniería UV en Coatzacoalcos, Ver.)				
Localización:	30 km al SUROESTE de SAYULA DE ALEMÁN, VER.				
	Epicentro	Profundidad	Magnitud	Hora (local)	Hora (GMT)
	17.63	-95.08	141 Km	4.4	21:17:20
				02:17:20	

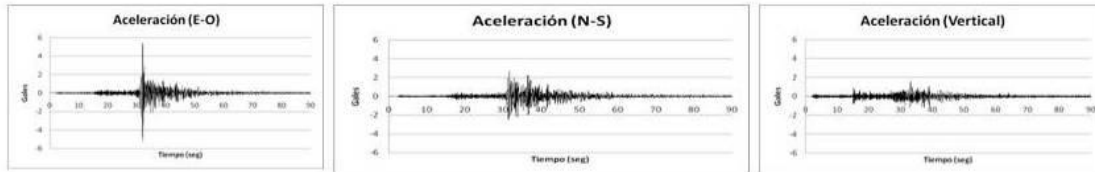


Figura 6 Registro sísmico

### VIBRACIÓN AMBIENTAL

En el siglo XVIII ya se intuía la relación entre las características del suelo y la respuesta de ciertas construcciones ante un sismo, quedando claramente reconocido a principios del siglo pasado. En la ciudad de México este efecto se manifiesta claramente en el sismo de 1957, pero es el sismo de 1985 el detonante para su estudio.

Dado que el efecto de sitio se puede identificar conociendo el período dominante y éste es un parámetro que depende directamente de las propiedades estratigráficas del suelo, este trabajo ubica los puntos para realizar la vibración ambiental (registro de microtremores) en las zonas identificadas en el mapa de geotecnia (ver figura 7).

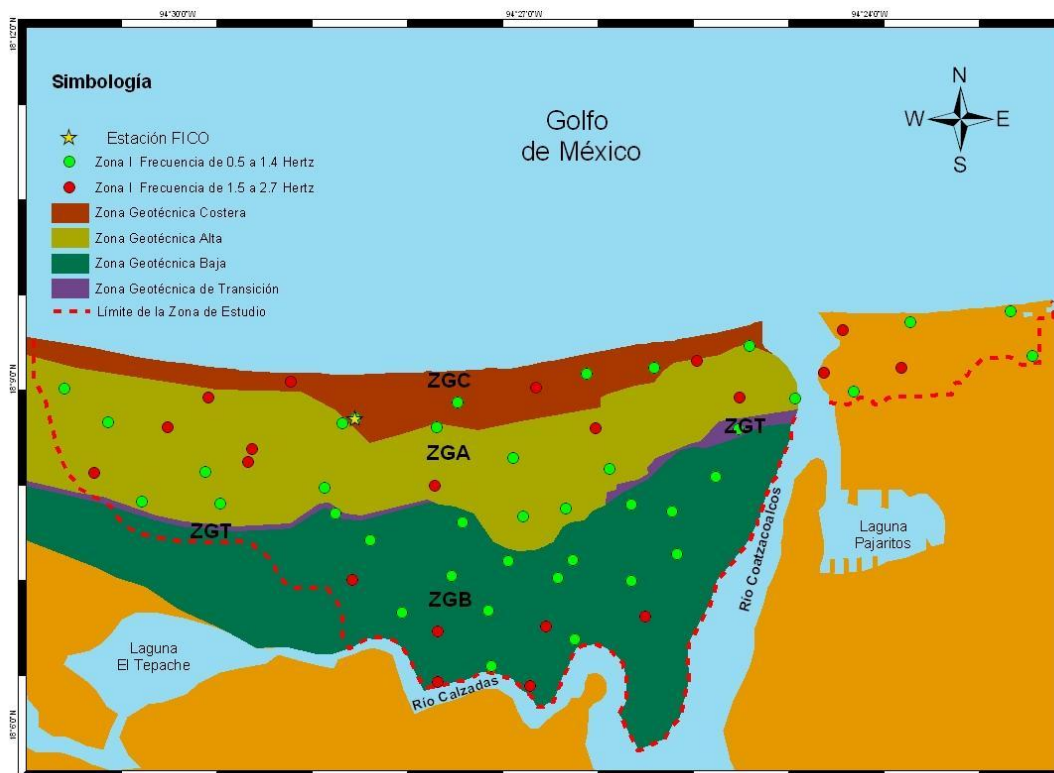


Figura 7 Distribución de puntos de vibración ambiental y ubicación de la estación FICO

El registro de microtremores para estimar la respuesta de un sitio fue introducido en Japón por los años 50 (Kanai et al., 1954) y sigue presentando un alto atractivo para la caracterización de la respuesta de sitio, tanto por su sencillez de operación y su bajo costo, como por la rapidez con que permiten obtener resultados (Lermo y Chávez-García, 1994a,b). En especial cuando es interpretado utilizando la razón espectral entre las componentes horizontales y la vertical de un mismo registro (técnica de Nakamura), propuesta originalmente por Nakamura (1989).

Se registraron 60 puntos de vibración ambiental cubriendo la mayor parte de la zona delimitada (ver figura 7) a razón de un punto por  $\text{km}^2$ . El valor del periodo dominante del terreno en cada punto se muestra en la figura 8. El equipo de registro usado fue un acelerógrafo marca ETNA de Kinometrics, con un rango dinámico de 108 dB, que adquiere las señales analógicas del acelerómetro y las graba digitalmente con una resolución de 18 bits a una velocidad de muestreo de 200 mps en sus tres direcciones ortogonales. Después de orientar y nivelar el aparato, en cada punto se registraron 5 eventos, utilizando un pre-evento de 1 seg., un post-evento de 120 seg y una velocidad de muestreo de 100 mps . Los datos registrados se transfieren a una computadora para su análisis.



**Figura 8 Periodos dominantes**

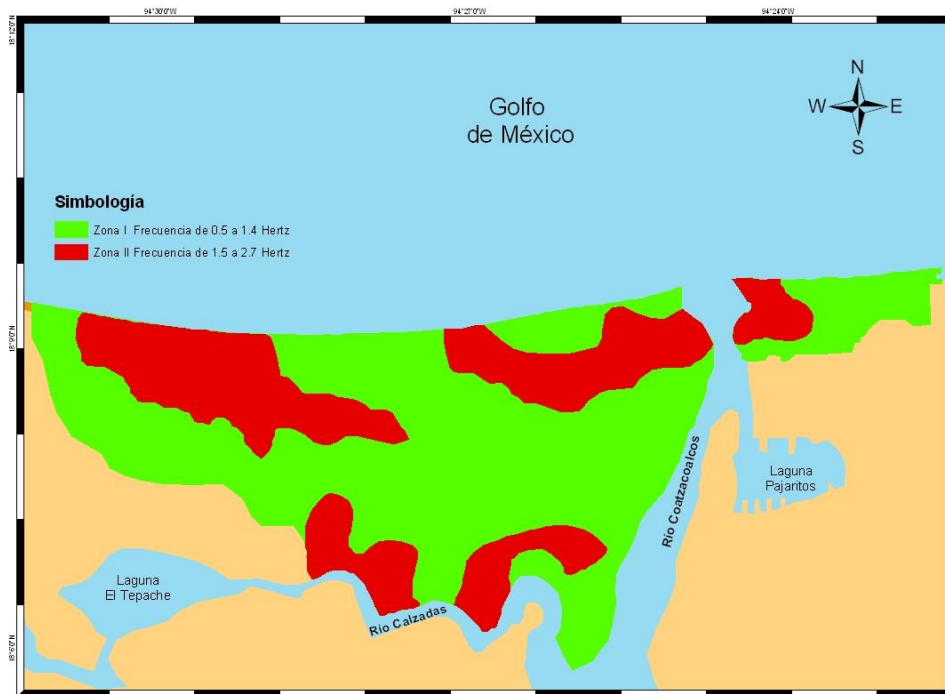
### DETERMINACIÓN DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA EMPÍRICA PROMEDIO (FTEP)

La primera parte consiste en la visualización de las trazas de cada registro para seleccionar aquellos segmentos que no estén contaminados por transitorios de corta duración que puedan afectar la estacionariedad de las señales (principalmente vehículos y peatones en la proximidad del instrumento). Dentro de los registros, se seleccionaron ventanas de 40 seg de duración para cada punto, las cuales se utilizaron para calcular espectros de amplitudes de Fourier. Para obtener estimaciones robustas del espectro de Fourier, se seleccionaron varias ventanas de un registro para cada punto. Los espectros de amplitudes de Fourier fueron suavizados con una ventana rectangular de  $1/3$  de octava de ancho, con objeto de disminuir la varianza. Posteriormente, para obtener las funciones de transferencia empíricas (FTE), se aplica la técnica de Nakamura (cociente espectral entre los espectros de

amplitud de Fourier de las componentes horizontales, NS y EW y la vertical) para cada uno de los 60 puntos y calculando la media geométrica de las FTE en cada uno de ellos se encuentra la FTEP, con la cual se determinó una estimación de la frecuencia dominante del sitio.

### MAPA PRELIMINAR DE FAMILIAS DE FORMAS ESPECTRALES

Se observó que las FTEP no tienen la misma forma espectral o componente dinámico a pesar de pertenecer al mismo depósito geológico, por lo que se agruparon sin tomar en cuenta la clasificación geológica y se encontraron diferentes familias de formas espectrales. Como resultado de esta agrupación, se obtuvieron 2 zonas, representadas en el mapa preliminar de familias de formas espectrales. Con estas familias la ciudad de Coatzacoalcos queda dividida en dos zonas según el efecto de sitio del terreno (ver figura 9).



**Figura 9 Zonificación de acuerdo al efecto de sitio**

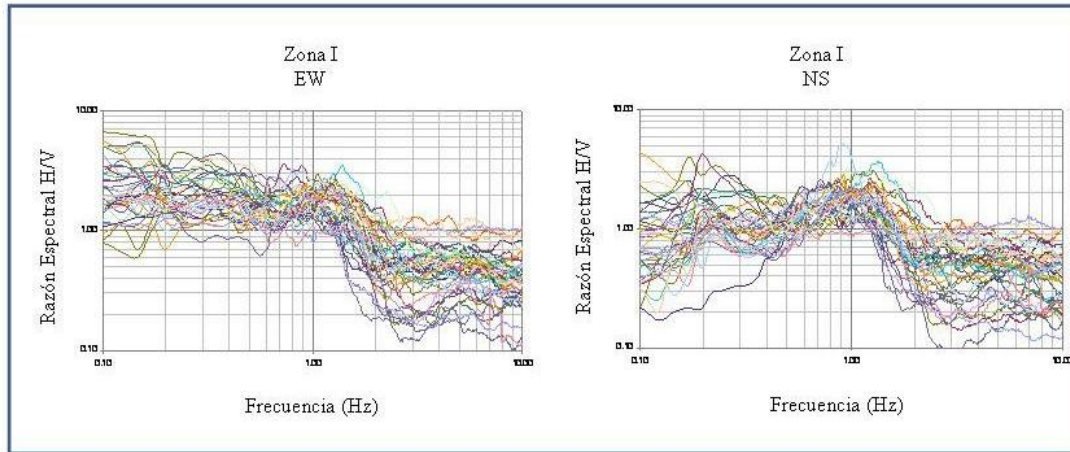
A continuación se describen cada una de las zonas:

#### Zona I

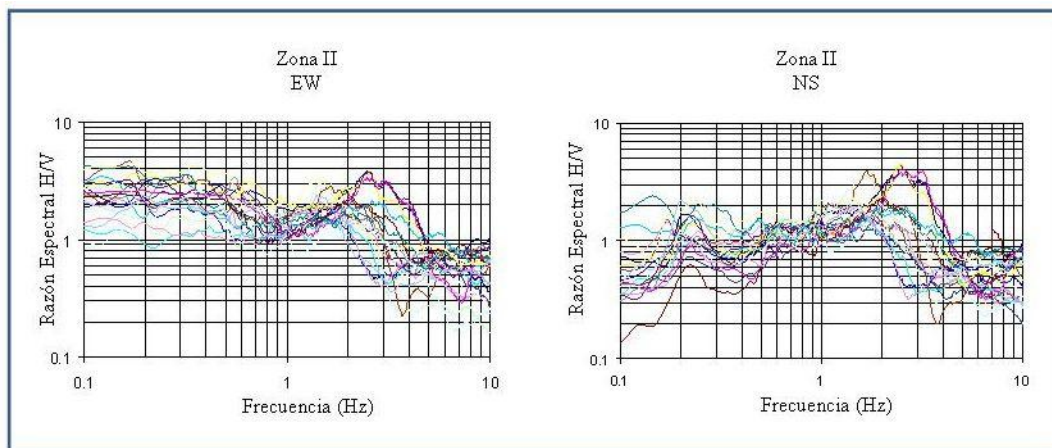
La frecuencia dominante para esta zona se encuentra en el rango de 0.5 a 1.5 Hz, con amplificaciones relativas hasta de 4 veces. Una estación acelerográfica temporal (FICO) se ubica en esta zona. La familia de formas espectrales de esta zona se muestra en la figura 10.

#### Zona II

La frecuencia dominante para esta zona se encuentra en el rango de 1.5 a 3.5 Hz. con amplificaciones relativas hasta de 4 veces. La familia de formas espectrales de esta zona se muestra en la figura 11.



**Figura 10 Familia de formas espectrales para la zona I  
Frecuencia de 0.5 a 1.5 Hz.**



**Figura 11 Familia de formas espectrales para la zona II  
Frecuencia de 1.5 a 3.5 Hz.**

## CONCLUSIONES

La microzonificación sísmica presentada en este trabajo, aunque es a nivel preliminar, nos da una buena idea del efecto de sitio y en donde es necesario aumentar la densidad de puntos de vibración ambiental en campañas futuras, ya que a partir de la zonificación geotécnica se puede distinguir hasta cuatro tipos de zonas, en las cuales será necesario tener mayores puntos de vibración ambiental para caracterizar su respuesta dinámica.

También es necesario estudiar con mayor detalle la zona II, debido a que tiene una frecuencia comprendida entre 1.5 a 3.5 Hz, las cuales presentan periodos dominantes bajos, cercanos a los modos de vibrar de las estructuras más comunes que se encuentran en la ciudad de Coatzacoalcos (edificaciones de 2 a 5 pisos). Por otro lado, una gran parte de esta zona II, coincide en gran medida con la “Zona Geotécnica Alta”, la cual está formada por arenas de dunas y médanos en espesores que van de los 15 m a 30 m, cuya compacidad aumenta con la profundidad.

Con respecto a la Congregación de Allende es necesario determinar las características geotécnicas y aumentar la densidad de registros de vibración ambiental.

El periodo de vibrar de los suelos en la Ciudad de Coatzacoalcos varía entre 0.25 a 2.0 segundos, con amplificación relativas hasta de 4 veces.

## RECONOCIMIENTOS

Estos trabajos son financiados por los Fondos Mixtos CONACYT-Gobierno del Estado de Veracruz (FOMIX) y forma parte del proyecto: “Propuesta de zonificación sísmica para el Estado de Veracruz”, (2007-2009), clave 32675.

Al Ing. Leopoldo Astudillo Salgado por la información relativa a la zonificación geotécnica de la cd. de Coatzacoalcos.

Al Dr. Ramón Zuñiga por la información del Catalogo de sismos instrumentales.

A la Ing. Sara Pérez Torres por su participación en el procesado de la información y el dibujo de mapas.

A los alumnos Flavio Vela Vilorio y Miguel Pólito Canela de la Facultad de Ingeniería Civil, Región Veracruz de la Universidad Veracruzana por su participación en las campañas de vibración ambiental y procesamiento de los registros.

## AGRADECIMIENTOS

Al maestro Roberto Rivera Baizabal por su dedicación en el mantenimiento de los equipos de registro sísmico.

## REFERENCIAS

Barrier, E., Velasquillo, L., Chavez, M., Gaulon, R. (1998), **“Neotectonic evolution of the Isthmus of Tehuantepec (southeastern México)”**, Tectonophysics 287, págs. 77-96.

Benavides, L. (1956), **“Geología Petrolera de México”**, Simposio Internacional del Petróleo. México, D.F.

Bravo, H., Rebollar, C., Uribe, A., Pérez, M.E., López, P., Jiménez, O. (2003), **“Estructura de la corteza y geometría de la zona de Wadati-Benioff en la zona del Istmo de Tehuantepec”**, XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, León Guanajuato, México.

Castro, R., Nava, E. (1986), **“Análisis de la actividad sísmica local en la zona de Laguna Verde, Ver., durante 1985”**. Instituto de Ingeniería, UNAM.

De la Orta S., Aguilar F. (1989), **“Estudio de riesgo sísmico para la determinación de espectros de diseño sísmico para las zonas petroleras de Coatzacoalcos, Ver. y Salinas Cruz, Oax”**, VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica y VII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco, Gro., México, Volumen I, Págs A-14 a A-32.

García, V., Suárez, G. (1996), **“Los sismos en la historia de México, tomo I”**. Ediciones Científicas Universitarias de la UNAM y el Fondo de Cultura Económica. ISBN 968-16-4874-9. México, D.F.

Hernández, A. (2008), **“Catálogo de sismos históricos para el estado de Veracruz (1523-1912)”**. Tesis para obtener el título de Licenciatura en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Región Veracruz-Boca del Río, Universidad Veracruzana.

Kanai, K., Tanaka (1954), **“Measurement of the microtremor”**, Bull Earthquake Res Inst. Tokyo Univ., Vol. 32, pp.199-209.

Lermo, J., Chávez-García,F. (1993), **“Site effect evaluation using spectral ratios with only one station”**,Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 83, pp.1574-1594.

Lermo, J., Chávez-García,F. (1994a), **“Are microtremors useful in site response evaluation?”**, Bull.Seism. Soc. Am, Vol. 84, pp.1350-1364.

Lermo, J., Chávez-García,F. (1994b), **“Site effect evaluation at Mexico City: Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremor records”**, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.13, pp. 413-423.

Lermo,J.,Limaymanta,F. (2007), **“Uso de las funciones de transferencia empiricas (HVNR) obtenidas con microtremores para construir mapas con la clasificación de los terrenos de cimentación para diseño sísmico”**, XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero.

Lermo,J., Limaymanta,F., Williams, F., Riquer, G., Leyva, R. (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, R., Williams, F., Riquer, G., Lermo, J. (2009), **“Regiones sismogénicas de mayor peligro sísmico para el estado de Veracruz”**, XVII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Puebla, Pue., México.

Molina, R. (2008), **“Localización de epicentros de sismos en el estado de Veracruz”**. Tesis para obtener el título de Licenciatura en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Región Veracruz-Boca del Río, Universidad Veracruzana.

Nakamura, Y (1989), **“A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremorson the ground surface”**, QR of RTRI, Vol. 30, No.1, pp. 25-33.

Pérez, S. (2009a), **“Catálogo sísmico instrumental del estado de Veracruz (1910-2008)”**. Tesis para obtener el título de Licenciatura en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Región Veracruz-Boca del Río, Universidad Veracruzana.

Pérez, S., Riquer, G., Williams,F., Leyva,R. (2009b), **“Catálogo sísmico instrumental del Estado de Veracruz (1910-2008)”**, Tercer congreso internacional de ciencias, tecnología, artes y humanidades, Coatzacoalcos, Ver., México.

Ponce, L., Gaulon, R., Suarez, G., Lomas, E. (1992), **“Geometry and state of stress of the downgoing Cocos Plate in the Isthmus of Tehuantepec, México”**, Geophysical Research Letter, Vol. No. 8, Págs. 773-776, April 24 1992.

Riquer, G., Williams,F., Lermo,J., Leyva, R., Neri,I., Santamaría, J. (2008), **“Ampliación de la red de registro sísmico basada en una regionalización sismotectónica preliminar del Estado de Veracruz”**, XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Veracruz, Ver., México.

Riquer,G., Williams,F., Leyva,R., Lermo,J. (2009), **“Ampliación de la red de registro sísmica del estado de Veracruz fundamentada en una propuesta de regionalización sismotectónica”**, Tercer congreso internacional de ciencias, tecnología, artes y humanidades, Coatzacoalcos, Ver., México.

Soto, CA., Ortega,G.V.,Mora,O.G. (2004), **“Present and future of the Salina itsmo basin and its offshore extension into the Gulf of México”**, AAPG International Conference, Pemex exploracion and production, Cancun, Q.R., México

Williams,F.,Limaymanta,F.,Riquer, G., Leyva, R.,Lermo,J., (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.

Zúñiga, R. (2008), **“Catálogo de la sismicidad de México”** , sin publicar.

Zúñiga, R. ,Wyss, M. (1995), **“Inadvertent changes in magnitude reported in earthquake catalogs: Influence on b-value estimates”** . Bulletin of the Seismological Society of America, V.85, 1858-1866.

Zúñiga,R.,Suárez,G.,Ordaz, M.,García-Acosta,V. (1997), **“Proyecto: Peligro Sísmico en Latinoamérica y el Caribe”** , Reporte final, Capitulo 2, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Ottawa, Canadá.