

# Microzonificación sísmica de las laderas de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

José Piña Flores<sup>1</sup>

Juan Carlos Mora Chaparro<sup>2</sup>

Raúl González Herrera<sup>3</sup>

José Edgar Castellanos Roque<sup>3</sup>

Eduardo Vázquez Náfate<sup>4</sup>

Isaac Jordanli Balbuena de la Cruz<sup>4</sup>

## RESUMEN

En la ciudad de Tuxtla Gutiérrez se realizó un estudio de microzonificación sísmica con el objetivo de identificar los niveles de peligro sísmico en la ciudad y estar en posibilidad de desarrollar propuestas para una reglamentación con respecto a las aceleraciones sísmicas que experimentarían las construcciones. En este artículo se presenta la parte del estudio que corresponde a las laderas de la ciudad, donde se empleó la técnica de Nakamura (1989). Esta técnica utiliza ruido ambiental (microtremores), la cual, permite estimar el periodo natural de vibración del suelo, a partir de estos resultados se obtiene un mapa de isoperiodos para observar las características dinámicas del suelo de la ciudad y así determinar espectros de diseño sísmico para cada zona.

**Palabras clave:** microtremor, ruido sísmico, periodo natural de vibración, técnica Nakamura, zonificación sísmica.

## ABSTRACT

In the city of Tuxtla Gutierrez a study of seismic microzonation with the aim of identifying the levels of seismic hazard in the city is realized and being in possibility of developing proposals for a regulation with respect to the seismic accelerations that underwent the constructions. In this paper shows the study that corresponds to slopes of the city, where the technique of Nakamura (1989) was used. This technique uses environmental noise (microtremores), which, allows to consider the natural period of vibration of the ground, from these results a map of isoperiods is obtained to observe the dynamic characteristics of the ground of the city and thus to determine seismic spectrums design for each zone.

**Key words:** microtremor, seismic noise, natural period of vibration, Nakamura technique, seismic zoning.

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez se localiza en una región cercana a la zona sísmica de subducción que presenta la placa de Cocos bajo la placa de Norteamérica en el sureste mexicano, esta interacción genera una importante cantidad de sismos en la zona, otra importante fuente de la energía sísmica liberada se encuentra en el límite tectónico de las

Facultad de Ingeniería de la UNAM, Ciudad Universitaria  
Delegación Coyoacán, México, D.F.  
ead2009@hotmail.com

Instituto de Geofísica de la UNAM, Ciudad Universitaria  
Delegación Coyoacán, México, D.F.

Facultad de Ingeniería. Universidad de Ciencias y Artes de  
Chiapas, 1<sup>a</sup> Av. Sur Poniente no. 1460, col. Centro, C.P. 29000  
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México  
Teléfono y fax: (961) 125-6033.

Facultad de Ingeniería Civil de la UNACH.

placas Norteamericana y el Caribe, que presentan un fallamiento lateral izquierdo que ingresa al estado a través de la falla Motahua-Polochic y finalmente una intensa actividad sísmica a través de un sistema de fallamiento cortical.

El peligro sísmico del estado de Chiapas no está bien definido del todo, aunque se sabe que es importante para gran parte del estado, puesto que existen pocos trabajos de investigadores nacionales y regionales, en el año de 1995 tras el sismo de Villaflores, investigadores de la UAM-A y la UNACH propusieron un mapa de isoperiodos basado en adquisición de vibración ambiental (Alonso *et al.*, 1995), determinando que los periodos predominantes de la mancha urbana de Tuxtla Gutiérrez varían desde 0.11 hasta 0.33 segundos, estos periodos se obtuvieron con base a la experiencia de los autores durante el análisis de espectros de Fourier.

Posteriormente se presentó una propuesta de microzonificación sísmica en relación con el periodo natural de vibración del suelo mediante la técnica de

Nakamura, la que arrojó un resultado que variaba desde 0.10 hasta 0.53 segundos (Narcía, C. *et al.*, 2006) obteniendo un mapa de isoperiodos (ver figura 1).

Los estudios de microzonificación sísmica consisten en la identificación y caracterización de unidades litológicas, generalmente suelos cuyas respuesta dinámica frente a terremotos son semejantes. Además de estas unidades se incluyen los efectos inducidos (fallas, licuefacción, etc.) y se valora su peligrosidad. Es muy útil considerar los daños previos en una región. Los mapas resultantes, o mapas de microzonificación, se presentan en una base cartográfica útil para fines de edificación y planificación urbana (Tupak Obando, 2009).

Los aspectos más significativos a estudiar en los estudios de microzonificación son los siguientes:

Propiedades geotécnicas de los suelos, espesor, densidad, velocidad de ondas transversales, módulo de rigidez, resistencia, profundidad del nivel freático, etc. Susceptibilidad frente a la licuefacción, deslizamiento y roturas superficiales por fallas.



Figura 1 ■ Mapa de isoperiodos de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez en función del periodo natural del suelo (modificado de Narcía, C. *et al.*, 2006).

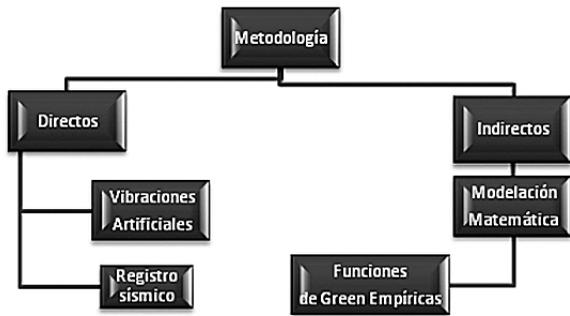


Diagrama 1 ■ Casas demolidas en Lomas del Oriente (sur de Tuxtla Gutiérrez) octubre 2010. Foto JP.

Susceptibilidad de laderas de sufrir procesos de remoción.

Condiciones topográficas que puedan amplificar la respuesta sísmica.

Peligrosidad frente a tsunamis en zonas costeras.

## METODOLOGÍA

Existen dos maneras de obtener el periodo fundamental de vibración del suelo, la *indirecta* y la *directa* (ver diagrama 1), la primera consiste en crear acelerogramas sintéticos a partir de registros sísmicos, en ésta se utiliza las funciones probabilísticas de Green (Aguilar, Z. *et al.*, 2002), con el cual al ingresar los parámetros del suelo se obtiene una estimación. El método directo consiste en la medición de microtremores a partir de instrumentación.

Los microtremores son vibraciones generadas por eventos artificiales producto de la actividad humana tales como tráfico, maquinaria industrial y explosiones de dinamita, cuya principal ventaja respecto a los microsismos es su estabilidad. Están compuestos principalmente por ondas Rayleigh y contrario a los microsismos, son de periodo corto (Aki, 1957; Akamatsu y Nogoshi, 1961; Igarashi, 1971), el ruido ambiental (microtremores) permite obtener el periodo fundamental, no obstante el ruido al que esté expuesto. (ver figura 2). Esta segunda técnica es la que se aplica

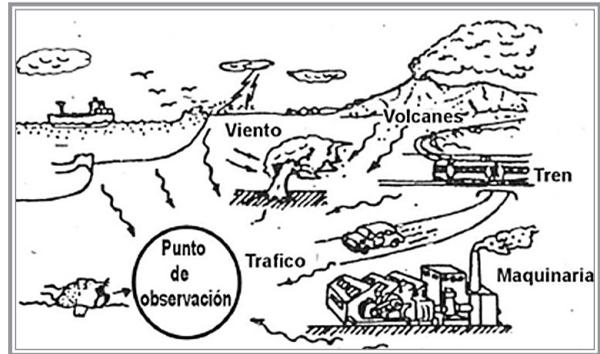


Figura 2 ■ Fuentes de los microtremores o ruido ambiental.

en este trabajo por su bajo costo y posibilidad de acceso a los equipos requeridos.

Para el estudio de microzonificación se realizaron registros de vibraciones en las laderas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez con el objetivo de determinar el periodo fundamental de vibración del suelo, para la adquisición de estos registros se utilizaron dos grabadoras Altus modelo Makalu con sus sensores modelo Episensor con una sensibilidad de  $\frac{1}{4}$  de la gravedad, los registros se tomaron con una duración de 12 minutos con 200 muestras cada segundo.

La distribución de estos registros se tomó con base en la densidad de población, además la necesidad de realizar una triangulación entre registros para poder cubrir una mayor superficie del terreno interpolando dichos registros, con lo cual, delimitamos con una mayor aproximación las zonas con un comportamiento dinámico similar para identificarlas en el mapa.

En lo que respecta al centro de la ciudad debido a que es la zona donde se han presentado más daños por eventos sísmicos, se empleará otro tipo análisis, para obtener los efectos de sitio ya que en este lugar se concentra la mayor parte de la actividad humana y por ende la concentración de ruido sísmico. La técnica seleccionada es la de Autocorrelación Espacial (SPAC), (Aki, 1957). Estos métodos permiten obtener modelos estratigráficos de velocidades a partir de la curva de dispersión de ondas



Figura 3 ■ Mapa de distribución de registros en las laderas de Tuxtla Gutiérrez.

Rayleigh; la frecuencia fundamental del sitio se puede encontrar de manera indirecta utilizando algún método de propagación de ondas en medios estratificados (Flores, H. 2003), de la figura 3 se observa dicha distribución de los registros en las laderas de la ciudad, los que equivalen a más de 300 puntos de muestreo, los que contrasta con los 75 que se emplearon en el estudio del año de 1995.

#### MÉTODO DE NAKAMURA

El método de Nakamura (Nakamura, 1989), conocido como el *método del cociente espectral*, permite obtener la función de transferencia aproximada del suelo y las amplificaciones asociadas, lo que representa identificar las funciones de transferencia entre las distintas zonas, es decir, si se amplifica la señal sísmica entre un punto y otro por las condiciones locales del suelo (véase figura 4).

El método asume que:

Las microtrepidaciones consisten en ondas Rayleigh, propagándose en una capa que está encima de un espacio infinito.

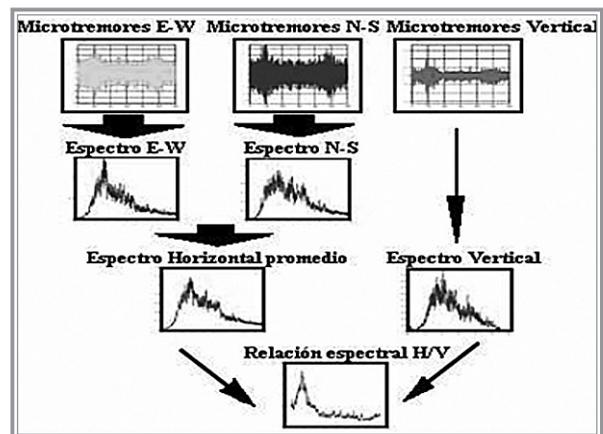


Figura 4 ■ Diagrama del método de Nakamura.

El movimiento es totalmente debido a fuentes locales y todas las fuentes profundas son despreciadas. Las fuentes locales no afectan el movimiento de las microtrepidaciones en la base del estrato de suelo.

#### PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de los datos obtenidos en campo se realizó con el software libre Geopsy ([www.geopsy.org](http://www.geopsy.org)),

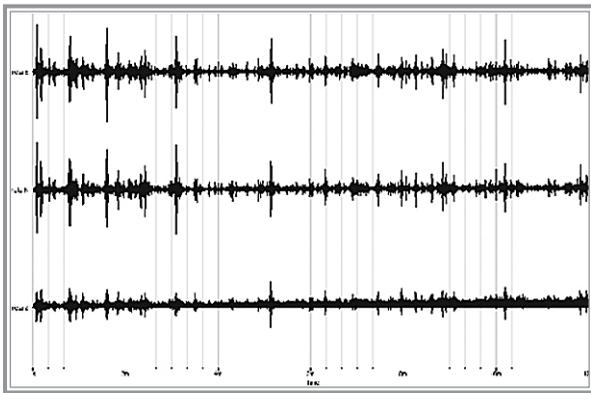


Figura 5 ■ | Datos en crudo de la zona poniente.

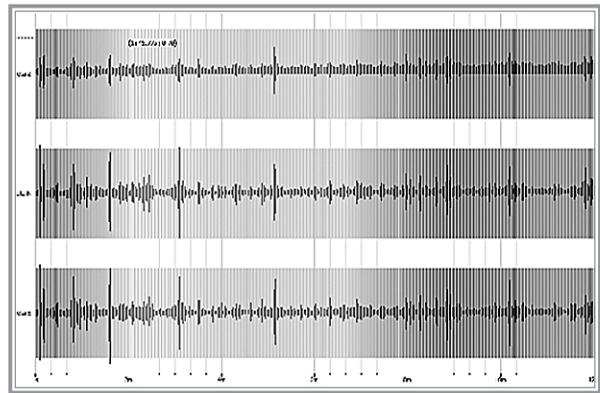


Figura 6 ■ | Señal ventaneada a cada 20 segundos.

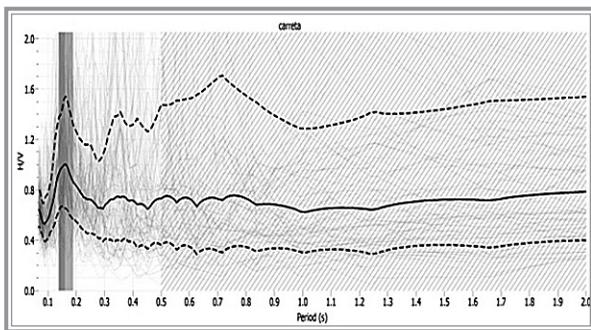


Figura 7 ■ | Periodo predominante 0.17segundos, donde se muestra en línea punteada la desviación estándar y la línea continua el promedio.

donde permite un ventaneo a la señal, posteriormente obtiene de cada ventana los espectros de Fourier y realiza el cociente espectral (H/V), obteniendo un promedio aritmético de los mismos.

En las siguientes figuras (desde 5 hasta la 7) se muestra la señal obtenida en la zona poniente de la ciudad (punto denominado La Carreta), lo cual se observa en la figura 5, donde la señal se ventaneó con una longitud de 20 segundos, como se observa la figura 6, finalmente se aplicó un suavizamiento de la señal del 1% para hacer el filtrado de la señal, obteniendo así el periodo predominante de las vibraciones del suelo (figura 7) el cual se encuentra alrededor de los 0.17 segundos, esta operación se realizó para todos los registros.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se muestra en el mapa 1, los datos obtenidos con la metodología descrita anteriormente, varían desde 0.11 y hasta 0.58 segundos, siendo los periodos de 0.2 hasta 0.35 los que predominan, lo cual implica que las construcciones de dos y tres niveles podrían sufrir mayores amplificaciones de la señal.

Estos resultados son preliminares ya que se están llevando a cabo la revisión minuciosa de algunos datos mayores de 0.4 segundos, así como el trabajo de campo en el centro de la ciudad. El mapa 1 se realizó con la ayuda del software Surfer 9, mediante la herramienta de interpolación Kriging. Finalmente tras interpolar se utilizó el software de Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS), para la realizar la referencia geográfica de los resultados, cabe mencionar que la información que presenta el artículo debe manejarse con las reservas del caso, ya que por procesos matemáticos se interpolan señales cubriendo incluso el centro de la ciudad, donde aun no hay resultados experimentales. No obstante la tendencia que muestran los resultados son adecuadas considerando los estudios anteriores y los datos topográficos, geológicos y geotécnicos con que se cuenta en el estado.

Algunos resultados concuerdan con el estudio realizado anteriormente. En este estudio se incluirán posteriormente los aspectos antes mencionados para

una buena microzonificación sísmica de la ciudad y así entonces obtener información sobre la intensidad máxima que puedan alcanzar eventualmente los sismos en una región determinada (entendiendo que la intensidad está relacionada directamente con los daños que pueden ocasionarse). La necesidad de la zonificación sísmica surge de la búsqueda de condiciones más seguras de una región, pretendiendo que sea implementada en las normas de construcción y urbanización, lo que redunde en condiciones más seguras para los habitantes y bienes económicos de una región. Las viviendas y las obras industriales, comerciales, educativas y de servicio, se deben edificar de modo que los sismos no alteren su funcionamiento normal y la microzonificación cumple un papel importante.

Los mapas 2 y 3 son representaciones del mapa 1 considerando la mancha urbana de la ciudad capital y la topografía de la ciudad, lo cual se representa como un mapa tridimensional.

## CONCLUSIONES

Las señales procesadas de las laderas permiten observar que la ladera sur presenta mayores periodos (0.45 segundos promedio) que en la norte (0.35 segundos promedio), lo cual, se debe posiblemente a mayor espesor de sedimentos deformables, material constitutivo menos denso, entre otros factores.

Con relación a los mapas que se realizaron en los años 1994 y 2006, el mapa obtenido en este trabajo nos da una idea más clara de las zonas en particular con una respuesta de amplificación de las ondas sísmicas, aunque falta incluir los aspectos de topografía, efectos inducidos, daños, etc., donde este nos permitirá de aquí en adelante tener en consideración relevantes con respecto a edificaciones y estructuras en construcción y así tomar la mejor decisión para reducir el riesgo sísmico de los habitantes y darle mayor seguridad a la inversión.

## AGRADECIMIENTOS

Al Sistema Integral de Protección Civil del Estado de Chiapas por el financiamiento del proyecto, Instituto de Geofísica de la UNAM, al biólogo Rodolfo José Palacios Silva, Coordinador de Ingeniería Ambiental de la UNICACH y a mis compañeros Silvia, Ana, Alondra, Itzel, Adrián y Rodrigo por su apoyo en este trabajo.

---

## LITERATURA CITADA

**AKAMATSU, K., 1961.** *On microseisms in frequency range from 1 c/s to 200 c/s*, Bull Earthquake Res., Inst. Tokyo, Univ., 39, pp. 23-75.

**AKI, K., 1957.** *Space and time spectra of stationary stochastic waves with special reference to microtremors*, Bull Earthquake Res., Inst. Tokyo Univ., 35, pp. 415-457.

**ALONSO G.; CRUZ R.; SANTOS F.; RAMÍREZ, M.; RUIZ, M.; E. IGLESIAS, J., 1995.** *Zonación sísmica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez*, 1a. edición, Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, México, s.p.

**FLORES, H., 2003.** *Método SPAC: otra alternativa para estimarla respuesta de sitio en la ciudad de México*, Departamento de Sismología, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, s.p.

**NAKAMURA, Y., 1989.** *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*, QR of RTRI 30, no. 1, February, pp. 25-33.

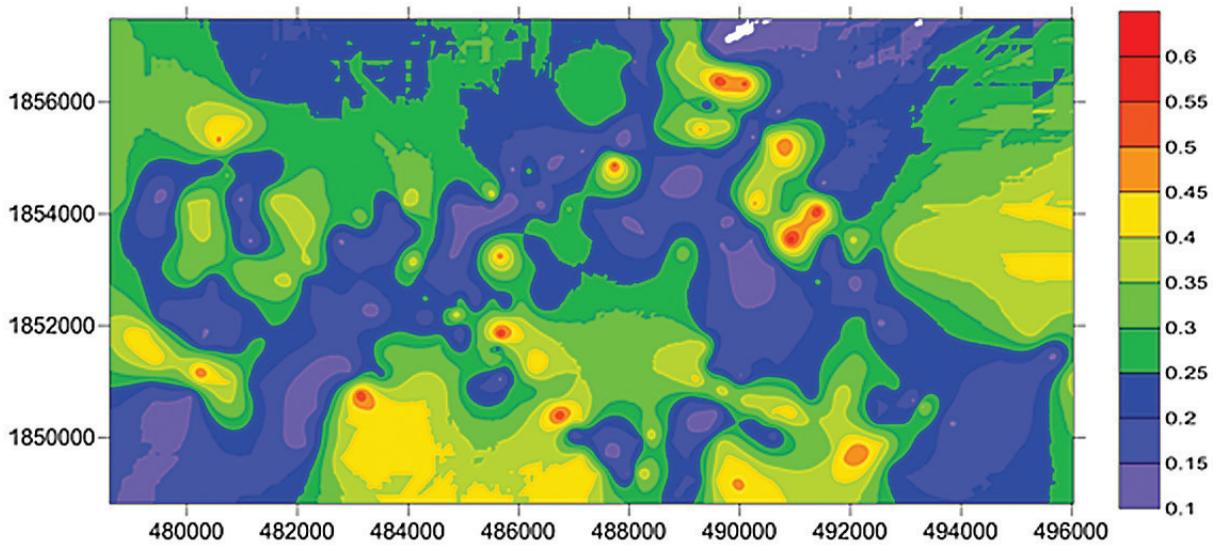
**NARCÍA, C.; AGUILAR J.; RAMÍREZ, M.; GONZÁLEZ, R.; CRUZ R., 2006.** El periodo natural de vibración del suelo en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en *Qué hacer científico en Chiapas*, UNACH vol. 1, Núm. 1, segunda época, enero-junio, s.p.

**NOGOSHI, M.; LGARASHI, T., 1971.** *On the amplitude characteristics of microtremor (Part 2)*, Jour. Seism. Soc., Japan, 24, 26-40. (In Japanese with English abstract).

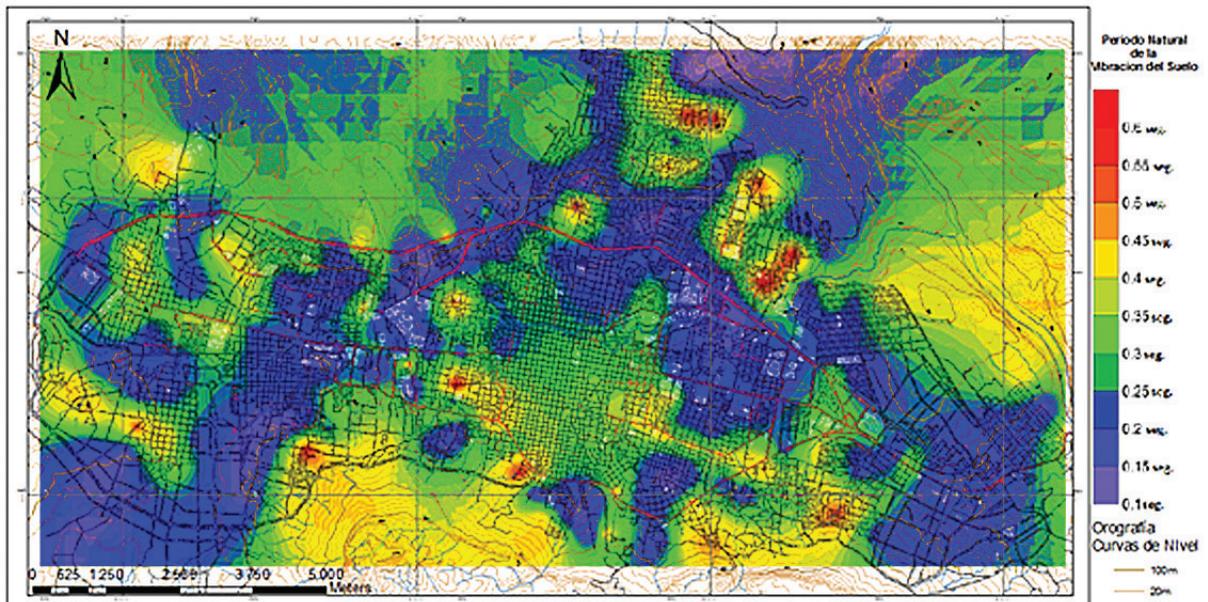
**TUPAK, O., 2009.** *Microzonificación sísmica*, Universidad Internacional de Andalucía, UNIA Huelva, España.



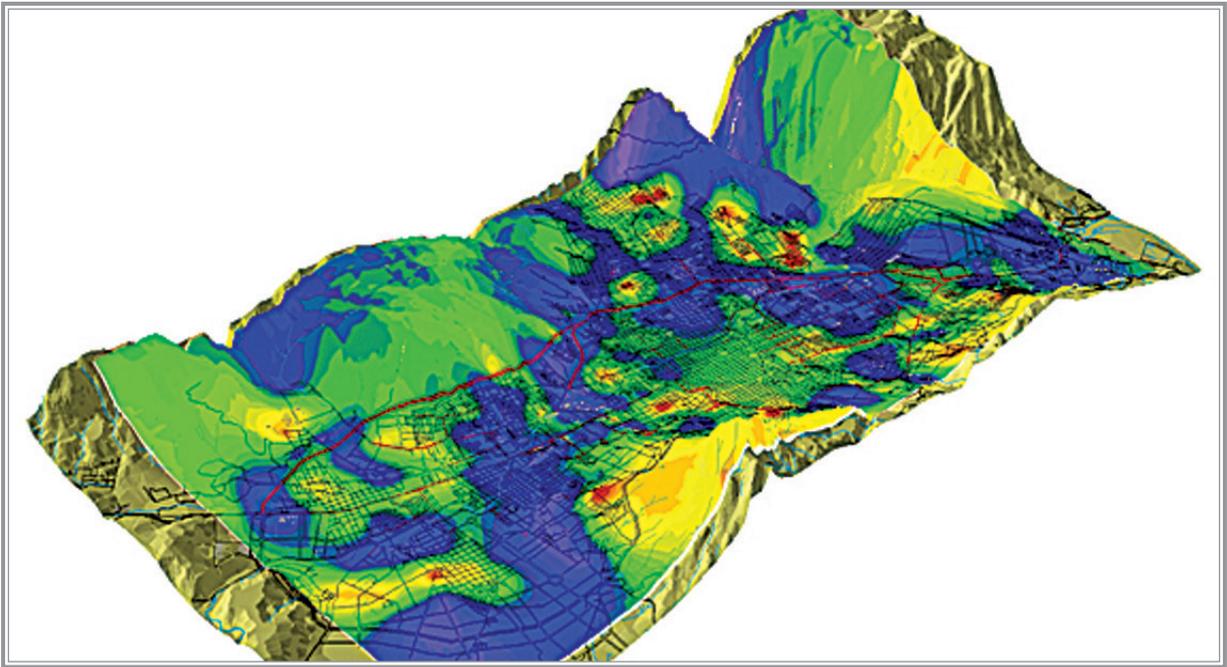




Mapa 1 ■ Imagen de isoperiodos georeferenciado, en la barra de color representa el periodo fundamental de vibración del suelo con unidades de segundos (s).



Mapa 2 ■ Imagen de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez sobrepuesto el mapa de isoperiodos obtenido anteriormente.



Mapa 3 ■ | Imagen en 3d de la topografía de Tuxtla Gutiérrez sobrepuesto el mapa de isoperiodos obtenido anteriormente.