



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Distribución espacial de
periodos dominantes en la ciudad de
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.**

PRESENTA

JOSÉ PIÑA FLORES

DIRECTOR: DR. MARTÍN CÁRDENAS SOTO
DR. JUAN C. MORA CHAPARRO



CIUDAD UNIVERSITARIA

Febrero 2011

Agradecimientos

Fuente de financiamiento

El presente trabajo fue financiado con los proyectos: CONACYT 48506-F, Dr. Juan Carlos Mora Chaparro; PAPIIT IN 103909-3, Dr. Juan Carlos Mora Chaparro; Proyecto externo Instituto de Geofísica I845), Sistema Integral de Protección Civil para la Reducción de Riesgos de Desastres (FOPREDEN) Juan Carlos Mora Chaparro.

Dr Juan Carlos Mora Chaparro por el apoyo y financiamiento de este trabajo, además de los conocimientos y apoyo durante la realización de este trabajo.

Dr. Raúl Gonzales Herrera por los conocimientos y la supervisión de este trabajo y su apoyo incondicional durante la estancia en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Dr. Martín Cárdenas Soto por sus conocimientos y por darle seguimiento a este trabajo.

Dr. Jorge Aguirre Gonzales por sus conocimientos y la colaboración en este trabajo.

Ing. Edgar, Ing. Eduardo, Ing. Jordanly, Ing. Margarita, Norma y Santes por el apoyo en trabajo de campo para la adquisición de los datos así como el equipo de GIS dirigido por el Dr. Juan Carlos Mora en la ciudad de Tuxtla por la Información y conocimientos.

Dedicatoria

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi alma Mater en los años más gloriosos de mi vida, a ella le debo mi formación y desarrollo profesional.

A mi Madre, su esposo, hermana y sobrina por estar conmigo y apoyarme en el camino.

A la familia Alvarado-Hernández y a la familia Olguín-Hernández que me han apoyado en los momentos que más lo necesitaba.

A mi pareja por estar en lo último y más difícil paso de mi carrera, por apoyarme y darme el valor que necesitaba.

A mis Amigos de la Facultad de Ingeniería Generación 2006-1 2011-1 por sus consejos y su ayuda en el transcurso de mi carrera.

ÍNDICE

RESUMEN

CAPÍTULO 1

1.-INTRODUCCIÓN	1
1.1.-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2.-OBJETIVOS	3
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3.-JUSTIFICACIÓN	4
1.4.-ZONA DE ESTUDIO	5
1.5.-ESTUDIOS PREVIOS	8

CAPÍTULO 2

2.-MARCO TEÓRICO	11
2.1.-VIBRACIÓN AMBIENTAL (MICROTREMORES)	11
2.2.-TÉCNICA DE COCIENTES ESPECTRALES H/V	13
2.2.1 LA INTERPRETACIÓN DE NOGOSHI: ENLACE CON LAS ONDAS SUPERFICIALES	13
2.2.2 EXPLICACIÓN DE NAKAMURA: VINCULO CON LAS ONDAS DE CUERPO	18

CAPÍTULO 3

3.-GEOLOGÍA GENERAL	24
3.1.- GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL	24
3.2.-FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA	32
3.3.-MARCO TECTÓNICO	37
3.4.- MARCO SÍSMICO	42

CAPÍTULO 4

4.-ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS	45
4.1.-UBICACIÓN DE LOS REGISTROS DE MICROTREMORES	45
4.2.-EQUIPOS DE MEDICIÓN, CONFIGURACIÓN Y REGISTROS	47
4.3.-CONDICIONES Y METODOLOGÍA PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS.....	51
4.4.-PRE-PROCESAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE SEÑALES	55
4.5.-ESTIMACIÓN DEL COCIENTE ESPECTRAL H/V.....	56

CAPÍTULO 5

5.-ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
5.1.-ANÁLISIS DE LAS GRÁFICAS DE COCIENTES ESPECTRALES H/V	59
5.2.-ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS Y ELABORACIÓN DEL MAPA	63
5.3.- ANÁLISIS DE DOS SITIOS CON REGISTRO DE SISMO	69

CAPÍTULO 6

6.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
--	-----------

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

RESUMEN

El estado de Chiapas se encuentra en la zona D, donde se han reportado grandes sismos históricos, la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad (SSN, 2012). Su capital, Tuxtla Gutiérrez, concentra la mayor parte de la población. En este trabajo presento los resultados de un estudio de la distribución de los periodos dominantes con el fin de contribuir al conocimiento de la respuesta sísmica en esta ciudad.

Realice campañas de campo para adquirir 350 mediciones de vibración ambiental con el fin de estimar los cocientes espectrales H/V. El análisis estadístico de estos datos, periodo característico y amplificaciones relativas permitió establecer una distribución de los periodos predominantes presentes en la ciudad. Durante el estudio, se registro un evento sísmico el 7 de abril del 2011 con una magnitud de 6.7 a 83 km de distancia en las Choapas, Veracruz, a una profundidad de 167 km (SSN, 2011), permitiendo comparar el cociente espectral H/V de microtemores con el cociente espectral H/V del evento sísmico.

Utilizando un sistema de información geográfica (SIG), generé un mapa de iso-periodos característicos y de iso-amplificaciones relativas H/V. Se observa que el 20% de los datos de periodo fundamental presentan valores comprendidos en el rango de 0.5 a 1.25 seg. y el 60% de los datos de amplificación relativa H/V tienen valores en el rango de 5 a 25, ubicándose principalmente en el centro de la ciudad y cercanos al río Sabinal.

Se observa que la distribución de daños estructurales provocados por los sismos del 20 de octubre de 1995 y del 7 de abril de 2011, se concentra en las cercanías al río Sabinal, en el centro y al norte de la ciudad, correlacionando con los sitios que presentan valores de amplificaciones relativas de 5 a 25 y periodos característicos con valores de 0.5 a 1.25 s.

Palabras clave: Tuxtla Gutiérrez, microtemores, cociente espectral H/V frecuencia fundamental, periodo dominante, amplificación relativa H/V, distribución espacial.

ABSTRACT

The state of Chiapas is located in zone D, which has reported large historical earthquakes, the occurrence of earthquakes is very frequent and the ground acceleration can exceed 70% of the acceleration of gravity (SSN, 2012). Its capital, Tuxtla Gutierrez, concentrates most of the population. This paper presents the results of a study of the distribution of the dominant periods in order to contribute to the knowledge of the seismic response in this city.

Perform field surveys to acquire 350 measurements of environmental vibration in order to estimate the spectral ratios H/V. Statistical analysis of these data, and amplifications characteristic period allowed for establishing a distribution of the predominant periods present in the city. During the study, a seismic event was recorded on April 7, 2011 with a magnitude of 6.7 to 83 km away in the Choapas, Veracruz, at a depth of 167 km (SSN, 2011), allowing to compare the spectral ratio H/V of microtremor spectral ratio with the H/V of the seismic event.

Using a geographic information system (GIS), I generated a map of iso-characteristic periods and iso-amplifications for H/V. It is observed that 20% of the fundamental period presented data values in the range of 0.5 to 1.25 sec. and 60% of the data relative amplification H/V with values in the range of 5 to 25, being located mainly in the city center and close to the Sabinal River.

It is observed that the distribution of structural damage caused by the earthquakes of October 20, 1995 and April 7, 2011, is concentrated near Sabinal River in the center and north of the city, correlating with the sites amplifications have relative values of 5 to 25 and periods characteristic with values of 0.5 to 1.25 s.

Key words: Tuxtla Gutierrez, microtremor, spectral ratio H/V fundamental frequency, dominant period, relative amplification H/V, spatial distribution.

1. INTRODUCCIÓN

La región chiapaneca es considerada a nivel nacional, como altamente propensa a la actividad sísmica, ya que se encuentra afectada por un complejo sistema de fuerzas tectónicas derivadas de la interacción de tres placas principales: la Placa de Cocos, que se desplaza de occidente a oriente, la Placa Americana y la Placa del Caribe, desplazándose en sentido contrario a la anterior. Como consecuencia de estos movimientos en la zona se desarrollaron varios sistemas de falla en los cuales se acumula y libera energía potencial con recurrencia variable.

Una de las ciudades importantes para el estado de Chiapas es su capital, Tuxtla Gutiérrez, el municipio al que pertenece 108 localidades con una población de 553,278 habitantes según los resultados preliminares del Censo General de Población y Vivienda 2010, en esta localidad se presenta la mayor concentración de población, infraestructura, equipamiento y servicios urbanos en el estado.

En la ciudad de Tuxtla Gutiérrez se ha observado que el movimiento sísmico no se produce de forma similar en todas las zonas de la ciudad. Se han observado que en algunas áreas se producían concentraciones de daños mayores que en otras zonas circundantes. El origen de esta concentración se debe a fenómenos de amplificación del movimiento del suelo, que aumenta tanto la aceleración, como la velocidad y el desplazamiento de la superficie zonas específicas del terreno. Esta amplificación puede deberse a diferentes fenómenos asociados a la naturaleza, composición y morfología de las capas superficiales de suelo. Al conjunto de estos fenómenos es lo que se conoce como “efectos locales”, “efecto local”, “respuesta local” o “efectos del sitio”, (Rodríguez, 2005). En este sentido, la atención del presente estudio, se centra en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a que las principales ciudades de Chiapas no tienen un reglamento de construcciones que contemple especificaciones de respuesta local de las ondas sísmicas, como el caso del D.F., resulta indispensable proponer estudios para establecer parámetros de reglamentación con base en las amplificaciones dinámicas producidas por suelos de diferente naturaleza.

Los planes de expansión de poblaciones deben hacerse de acuerdo a la respuesta sísmica local del subsuelo, para definir los parámetros específicos de diseño estructural sismorresistente, de acuerdo al historial sísmico de la región, (Sistema Estatal de Protección Civil, 2010).

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.). Los mapas resultantes, se presentan en una base cartográfica útil para fines de edificación y planificación urbana (Tupak, 2009).

Tupak, O. (Tupak, 2009) afirma que los aspectos más significativos a considerar 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.
- Susceptibilidad de laderas de sufrir procesos de remoción.
- Condiciones topográficas que puedan amplificar la respuesta sísmica.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer un mapa de zonificación sísmica a partir de la estimación de los períodos fundamentales y la amplificación relativa del suelo de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas,

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar mediciones de microtremores en la ciudad, abarcando la totalidad de la zona de estudio.
- Obtener los valores de período fundamental de vibración, así como la amplificación relativa del suelo a partir de mediciones de ruido ambiental, mediante la aplicación del método de cocientes espectrales H/V.
- Generación de un mapa de iso-periodos característicos del suelo así como uno de amplificaciones relativas asociadas integrando los datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

1.3. JUSTIFICACIÓN

Una de las ciudades importantes para el estado de Chiapas es su capital, Tuxtla Gutiérrez, en esta se concentra la mayor parte de la población, además de ser una de las importantes ciudades económicas y se concentran los poderes del gobierno. Los estudios llevados hasta el momento en la ciudad son pocos, estos no señalan claramente las zonas de la ciudad que amplifican el movimiento sísmico.

La investigación de las características locales que presenta el suelo es de especial interés y debe ser la primera parte de cualquier evaluación sísmica. El empleo de métodos pasivos basados de microtemores representa una excelente opción por su sencillez tanto en la parte experimental, como en el procesamiento de la información.

Los mapas para estimación de peligro sísmico a nivel regional, no señalan aquellos lugares propensos a la amplificación del movimiento del terreno. Para conocer de manera cuantitativa la respuesta dinámica del suelo ante la excitación sísmica, es necesario realizar estudios específicos.

La evaluación de la respuesta sísmica de los terrenos es hoy en día, esencial para la futura planificación urbana de la región. A través del mapa de valores de períodos, producto del estudio de microtemores, así como también por medio de la integración de estudios geológicos, gravimétricos, geotécnicos y de sísmica de refracción, entre otros, es posible delimitar zonas que presentan comportamientos similares permitiendo establecer requerimientos mínimos de diseño producto de movimientos sísmicos.

1.4. ZONA DE ESTUDIO

El municipio de Tuxtla Gutiérrez está ubicado en la Depresión Central del estado de Chiapas presentando relieve montañoso al norte y al sur. Su extensión territorial es de 412.40 km², lo que representa el 3.26 % de la región centro y el 0.55% de la superficie estatal. Esta ciudad limita al norte con los municipios de San Fernando y Osumacinta, al este con Chiapa de Corzo, al sur con Suchiapa y al oeste con Ocozocoautla y Berriozábal, (CEIEG, 2010) (Figura 1.1).

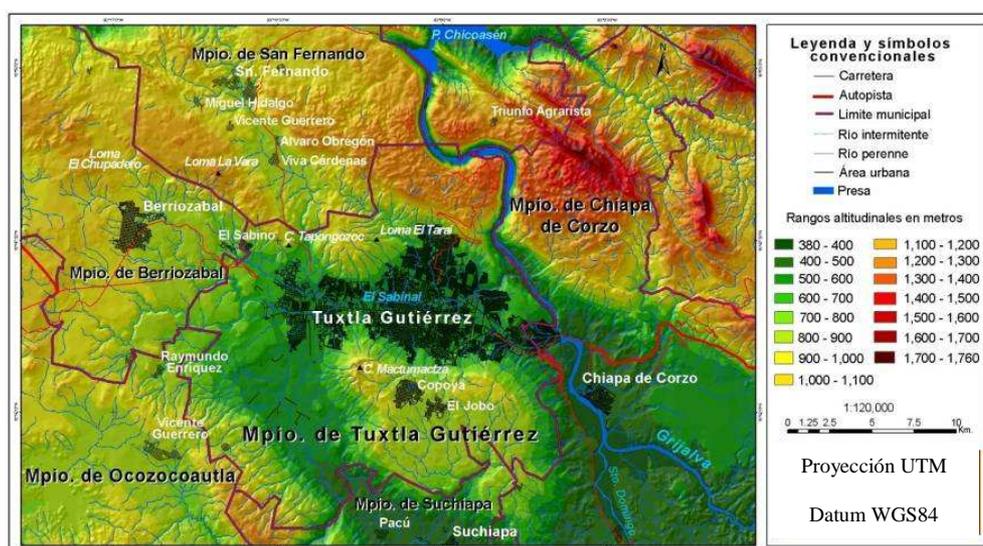


Figura 1.1. Municipio de Tuxtla Gutiérrez.

La cabecera municipal es a su vez la capital del estado y lugar central de la región I metropolitana y se ubica en un valle de laderas tendidas. Las coordenadas de la ciudad son: 16° 45' 10" de latitud norte y 93° 07' 00" de longitud oeste y se ubica a una altitud de 600 metros sobre el nivel del mar (CEIEG, 2010), (Figura 1.2).

El territorio municipal se conforma de sierras altas con laderas tendidas, llanuras con aportes aluviales y mesetas por erosión, en el parteaguas norte, prevalece un conjunto de sierras cuya altitud no rebasa los 1200 msnm, lo cual motiva que el relieve presente una serie de

lomeríos de pendientes suave, que originan un modelo erosional representativo de una baja densidad de drenaje. En la región de estudio se encuentran formaciones como el Cañón del Sumidero y cerro Mactumatzá lugares de belleza natural que forman parte del paisaje municipal y urbano.

Los flujos de agua dentro del municipio son los ríos Grijalva, El Sabinal, Suchiapa, Yatipak, Terán, San Agustín, Guadalupe. El río más importante del municipio es El Sabinal que nace en el municipio de Berriozabal, fluye por el valle central de Tuxtla, atraviesa la ciudad y desemboca en el río Grijalva. El plano oficial de Tuxtla Gutiérrez, de 1892, mostraba que El Sabinal era alimentado por 7 arroyos, pero debido al crecimiento de la ciudad hoy están embovedados o desaparecidos. Arroyos que lo alimentaron han sido los de la Chacona y El Poti, al norte de la ciudad; y al sur el San Roque, todos estos actualmente desaparecidos. El río El Sabinal era el límite natural de la pequeña ciudad de Tuxtla, pero en los años 1960, proliferaron las áreas urbanas a ambos lados del río que desde entonces ha recibido vertidos masivos de drenaje, por lo que ahora es parte de esa red. El río Sabinal fluye al suroeste del municipio, lejos de la ciudad y su caudal se une con el río Suchiapa.(Atlas de Chiapas 2010).

Ciudad de Tuxtla Gutiérrez

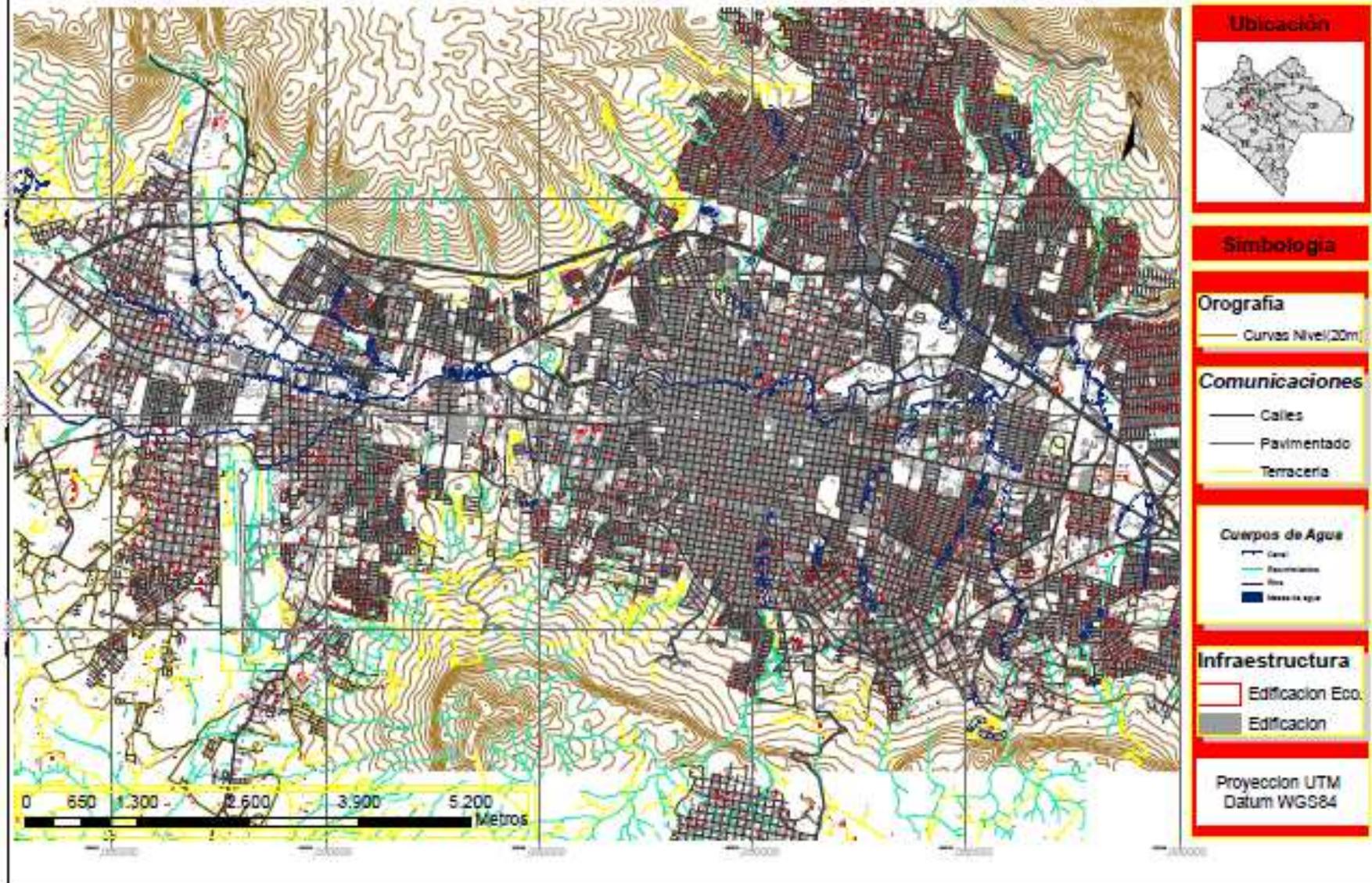


Figura 1.2 Mapa de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez Chiapas

1.5. ESTUDIOS PREVIOS

Los estudios llevados hasta el momento en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, son pocos trabajos de investigadores, en 1995 se propuso un mapa con curvas de iso-periodos basado en adquisición de vibración ambiental (Alonso et al., 1995), determinando que los periodos predominantes 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. El periodo más alto encontrado en la ciudad fue de 0.33 s. ubicado en la parte más baja del valle, en la zona de depósitos aluviales, en tanto el más bajo es de 0.11 s. que se ubican en la zona de depósitos clásticos continentales. En este estudio Alonso et al. (1995) consideran que el suelo del área urbana es terreno firme, extendiéndose las fronteras de esta zonificación al límite de crecimiento urbano de la ciudad para el 2010 (Figura 1.3).

Narcía et al, (2006), presentan una propuesta de microzonificación sísmica en relación con el periodo natural de vibración del suelo mediante la técnica de Nakamura, sus resultados muestran que varía el periodo característico de suelo de 0,10 hasta 0,53 segundos, obteniendo un mapa de iso-periodos. La figura 1.4 indica las zonas de igual periodo fundamental de vibración. Además mediante el modelo usado por Newmark y Rosenbleuth este autor estimó la variación de los espesores de sedimentos que aportan el efecto de sitio en la zona en la que se considera una velocidad promedio de ondas de corte en el medio de 150 m/s. lo que representa espesores de sedimentos desde los 3.82 m hasta los 19.95m. Se concluye que el terreno en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez debe clasificarse como terreno firme para las zonas rígidas e intermedio para la mayoría del valle.

Curvas de Isoperiodo (1995)

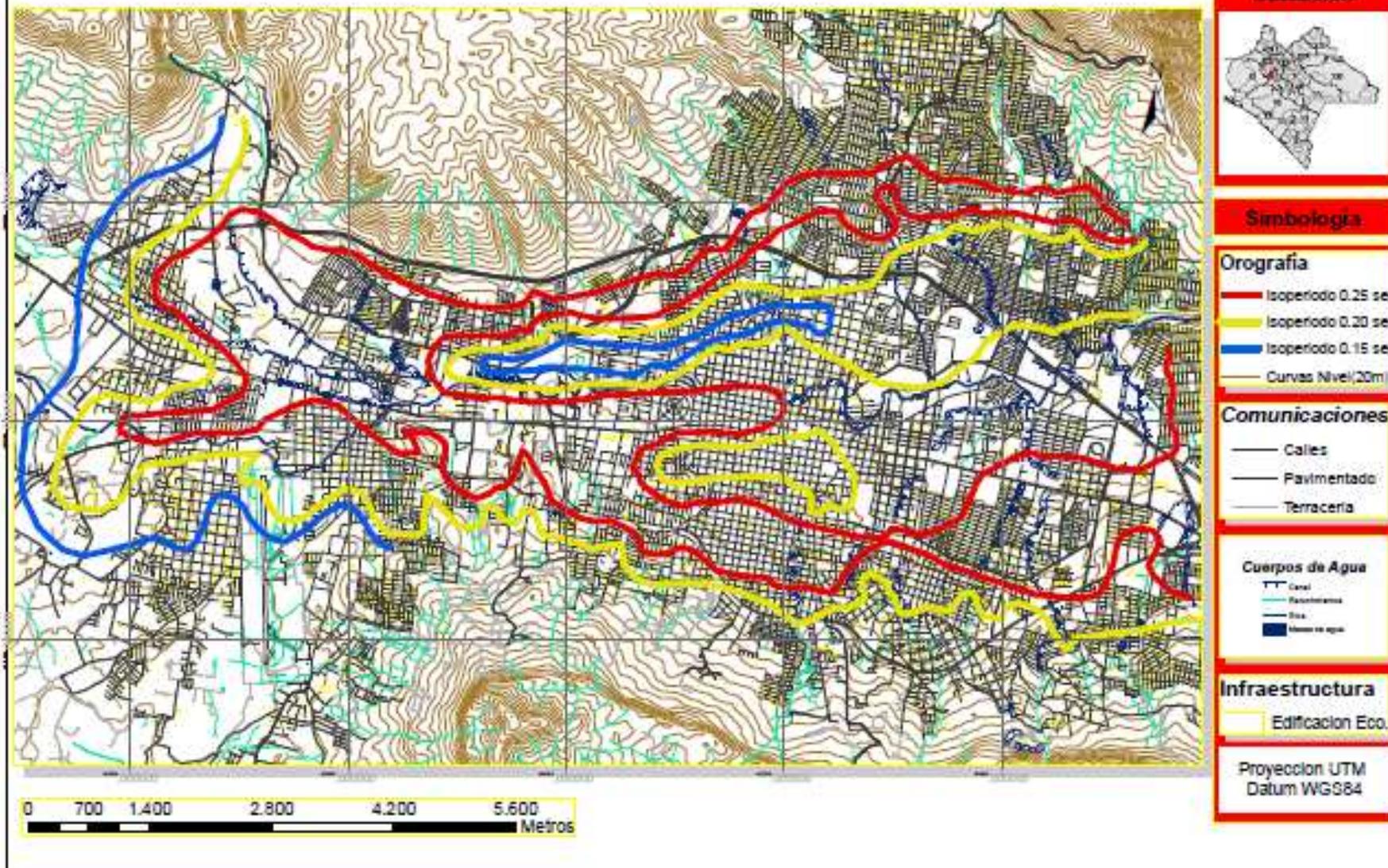


Figura 1.3 Mapa de iso-periodos para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez Chiapas (Modificado de Alonso et al., 1995)

Mapa de Isoperiodos (2004)

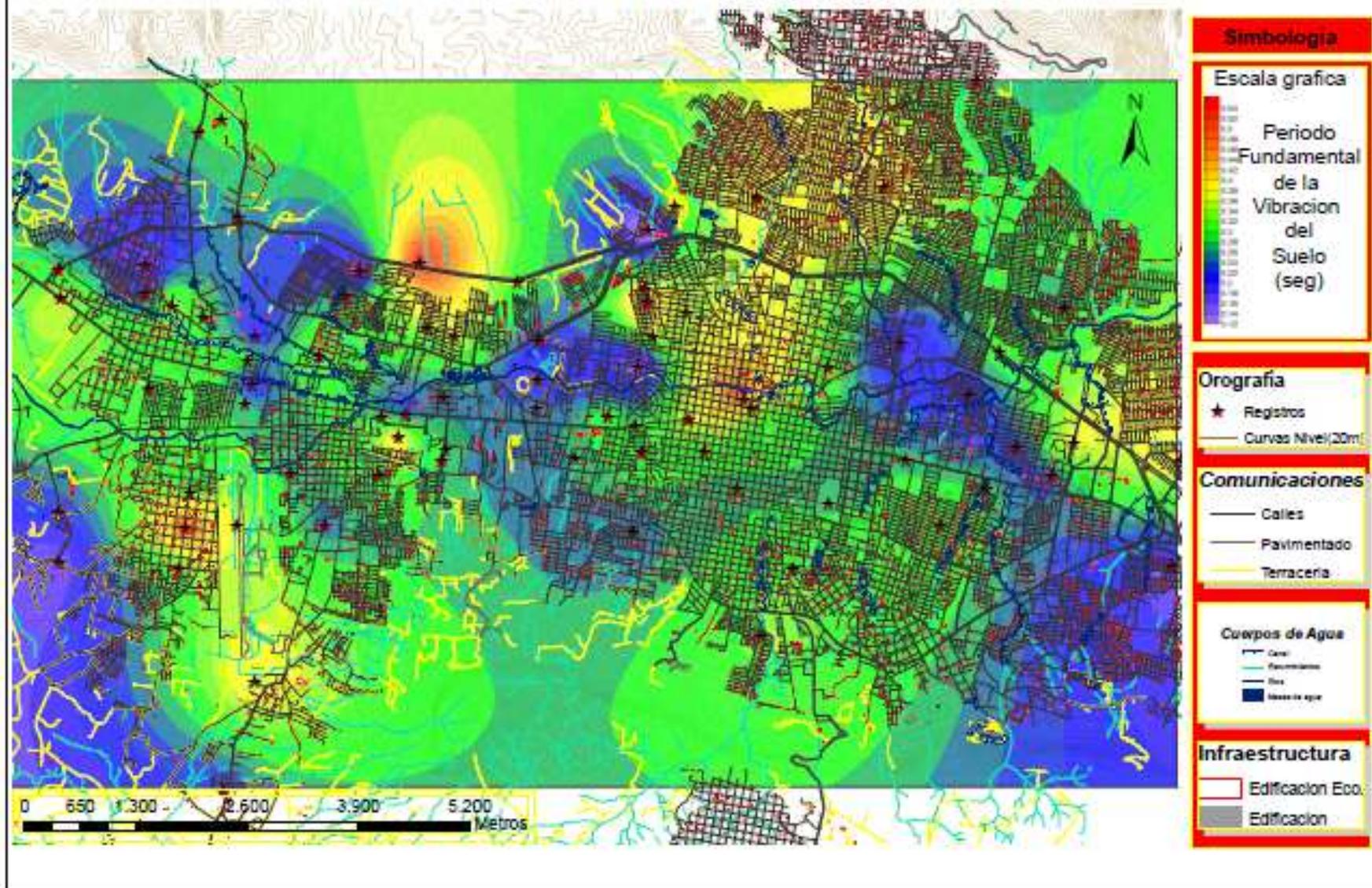


Figura 1.4 Mapa de iso-periodos para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez Chiapas (Modificado de Narcía et al, 2006).

2. MARCO TEÓRICO

2.1. VIBRACIÓN AMBIENTAL (MICROTREMORES)

Los efectos de los terremotos sobre las construcciones existentes en un lugar son el resultado directo de las características geológicas locales. Los daños causados por los terremotos dependen de la intensidad, el período y la duración de los mismos. Estos parámetros están fuertemente influenciados por las propiedades del suelo en la zona, los cuales a su vez dependen de las características topográficas y geotécnicas existentes. Las mediciones de vibraciones ambientales o ruido ambiental, las cuales se traducen en mapas, estos tienen el potencial de contribuir significativamente a la respuesta dinámica del suelo ante la excitación sísmica, en particular en zonas urbanas. (Paolini, 2006).

Los microtremores son vibraciones generadas por eventos artificiales producto de la actividad humana tales como tráfico, maquinaria industrial y explosiones de dinamita, etc., cuya principal ventaja respecto a los microsismos es su estabilidad. Están compuestos principalmente por ondas Rayleigh (Aki, 1957). Sin embargo, no se ha establecido una teoría concerniente al tipo de ondas que conforman los mismos (Nakamura, 2000).

Los microtremores son conocidos en la lengua inglesa con el nombre de “microtremors” y en castellano no hay uniformidad en el nombre aplicado, usándose indiferentemente y con el mismo significado las palabras microtremores, micro-vibraciones, vibración ambiental y ruido cultural (Espinoza, 1999). Los microtremores corresponden a diferentes rangos de frecuencias que, en general, pueden ser de dos tipos (Bard, et al, 2004):

- Bajas frecuencias (menores a 1 Hz), cuya fuente es principalmente de tipo natural, siendo las oceánicas las más representativas, emitiendo su energía máxima alrededor de 0,2 Hz. Frecuencias inferiores a 0,1 Hz están asociadas a fuerzas atmosféricas, sin embargo, este rango es de poco interés en ingeniería sísmica.

- Altas frecuencias (mayores a 1 Hz) cuyo origen es primordialmente producto de la actividad humana, como por ejemplo: fábricas, tráfico vehicular, maquinarias, peatones, etc. La fuente es mayormente de tipo superficial, además es importante resaltar que muestran gran variabilidad entre el día y la noche, y entre la semana y los fines de semana (Figura 2.1).



Figura 2.1. Fuentes de vibración ambiental (Adaptada de Yauri, 2006.)

2.2. TÉCNICA DE COCIENTES ESPECTRALES H/V.

Nogoshi e Igarashi (1971 citado en Bard, 1999) introdujo por primera vez la idea de ver el cociente espectral de una sola estación entre las componentes horizontal y vertical. Ellos mostraron su relación con la curva de elipticidad de la onda Rayleigh, y se aprovechó de la coincidencia entre el máximo de frecuencia más baja de la curva del cociente espectral H/V con la frecuencia de resonancia fundamental, para utilizarlo como un indicador de la estructura subterránea. Esta técnica fue retomada más tarde por Nakamura (1989) quien afirmó que este cociente ANHV (f) es una estimación fiable de la función de transferencia del sitio de las ondas S HT (f) (que le llevó a utilizar el nombre de "cuasi-Transferencia espectral", o QTS). A pesar de su semi-cualitativa explicación teórica parecía cuestionable para muchos científicos, esta técnica parecía tan atractiva, el método tan simple y barato, que inmediatamente se extendió por casi todo el mundo, a otros controles, o incluso, de hecho, a menudo, por las aplicaciones directas (Bard, 1999).

2.2.1.-LA INTERPRETACIÓN DE NOGOSHI: ENLACE CON LAS ONDAS SUPERFICIALES.

Esta interpretación se basa en la suposición de que el ruido predominantemente consta de ondas superficiales. Bajo ese supuesto, muchos autores (Entre los que Nogoshi e Igarashi, 1971; Campo y Jacob, 1993; Horike, 1996; Tokimatsu et al, 1996; Konno y Ohmachi 1998) están de acuerdo en los siguientes argumentos:

- El cociente espectral H/V está básicamente relacionada con la elipticidad de las ondas Rayleigh, debido a la predominancia de las ondas Rayleigh en la componente vertical.
- Esta elipticidad depende de la frecuencia y presenta un pico agudo alrededor de la frecuencia fundamental de los sitios que exhiben un alto contraste de impedancia suficiente entre la superficie y los materiales profundos. Este pico se relaciona con una fuga de la componente vertical, correspondiente a una inversión del sentido de

rotación de la fundamental onda Rayleigh, de izquierda a baja frecuencia.

Algunos autores creen que estos resultados son válidos para estructuras simples (sólo como una sola capa sobre un semiespacio, consulte Horike, 1996). Sin embargo, el más reciente por encima de los documentos mencionados muestran las curvas de elipticidad de las ondas de Rayleigh en suelos con perfiles de velocidad muy diferentes y complejas, son muy convincentes para extender la validez de este a cualquier perfil de velocidad de identificación. También se puede notar que la existencia de las ondas de Love en el campo de ondas de ruido no se altera esta interpretación, ya que las ondas Love no afectan a la componente vertical. De hecho, las ondas Love no refuerzan el pico porque la fase de Aire de ondas Love se produce, de nuevo, a una frecuencia muy cerca de la frecuencia fundamental onda S (Konno y Ohmachi, 1998 citado en Bard, 1999). Por el contrario, la componente vertical es sensible a las ondas de cuerpo (P o SV), y esta interpretación no puede ser invocada si el campo de onda de ruido incluye una parte significativa de las ondas de cuerpo.

Bard (1999) realizó dos preguntas que surgen inmediatamente después de lo anterior:

- ¿cuál es el umbral de contraste de impedancia por encima del cual los picos se espera que sea visible?
- Dado que existen diferentes modos de ondas de Rayleigh, y que todos los picos y valles de exhibición, ¿por qué más experimentales H / V ratios muestran sólo un pico?

La respuesta a la primera cuestión varía de un escrito a otro: en alguna parte entre 2,5 y 3 para Nogoshi e Igarashi (1971) citado en Bard, (1999), en torno a una diferencia de velocidad de 2,5 para Konno y Ohmachi (1998) citado en Bard, (1999), entre 3,3 y 5,5 para Ansary et al. (1995) citado en Bard, (1999) para una simple capa de estructuras), y por encima de 2,5 para los sitios con perfiles de velocidad complejas. Por tanto, parece razonable para establecer el umbral de alrededor de 3. Además, también se ha demostrado por los mismos autores y otros algunos, que cuando el contraste de impedancia alcanza estos valores, el acuerdo entre la frecuencia máxima f_R de H/V debido a la desaparición de la componente vertical de modo

fundamental de Rayleigh, y el modo fundamental de las ondas S, la frecuencia de resonancia f_{H0} , es excelente (menos de 10% de diferencia).

La respuesta a la segunda pregunta, Consideró Bard (1999), el “N” pico en la elipticidad corresponde con el “N” modo más alto de onda Rayleigh. En la misma frecuencia, existen otros tres modos de ondas de Rayleigh (los fundamentales y el primero más alto), que no presentan ningún pico elipticidad fuerte: Para los modos, la componente vertical no se está desvaneciendo. Como no hay ninguna razón física por la cual el ruido se compone fundamentalmente de un modo particular de las ondas de Rayleigh excepto el fundamental, podemos entender por qué este “N” pico no se mostrará en la relación espectral $A^{NHV}(f)$. La situación es diferente para el pico fundamental, ya que no hay otro modo a esa frecuencia, la situación puede ser diferente si todos los modos de Rayleigh exhiben un pico en la misma frecuencia. Cornou (1998) citado en Bard, (1999) demostraron que esto puede suceder por perfil de velocidad exhibiendo dos grandes contrastes en dos escalas muy diferentes: por ejemplo, una capa gruesa ($h_2 = 200$ m) de sedimentos intermedios ($\beta_2 = 400$ m / s) de lecho de roca dura ($F_{02} = 0,5$ Hz), cubierta por una capa delgada de suelos blandos ($h_1 = 5$ m, $\beta_1 = 100$ m / s, $f_{01} = 5$ Hz).

Otra característica interesante fue señalada por Konno y Ohmachi (1998), que puede ayudar en la selección de la frecuencia fundamental. En muchos casos, las curvas de elipticidad H/V exhiben una f_R pronunciada de casi el doble, correspondientes a un desvanecimiento de la componente horizontal (y una nueva inversión del sentido de rotación, de las agujas del reloj a la izquierda). Esto a través de sí existe, incluso para los contrastes de impedancia inferiores. Por lo tanto, una protuberancia clara en la curva H/V, también puede ser utilizado para la estimación de la frecuencia-fundamental.

La siguiente cuestión importante se refiere a la amplitud de este pico del cociente espectral H/V, y su relación con la amplificación de las ondas S. Estrictamente hablando, por encima del umbral de contraste de impedancia, no puede haber ninguna relación desde el pico elipticidad es infinito. Sin embargo, Konno y Ohmachi (1998) sostuvo recientemente que, al suavizar adecuadamente el espectro de H y V (antes de calcular el cociente espectral H/V),

los valores resultantes para el pico del cociente espectral H/V, denominado R_B , están correlacionados con la amplificación de la onda S A_{H0} . Esta afirmación, basada en cálculos numéricos para cerca de 100 perfiles de velocidad diferentes, parece bastante convincente para estructuras simples (una sola capa sobre un semiespacio, pero menos convincente para los perfiles más complejos, velocidad realista en 1D, ya sea un ajuste satisfactorio con la relación promedio de $R_B = 0,4 A_{H0}$, o un complot paso a paso con dos grupos en torno a los valores de R_B 1 y 4-5, y otro de racimo en todo A_{H0} valores de 5. Además, estos valores de R_B no dependen del parámetro de suavizado (aunque Konno y Ohmachi proponer una función de suavizado especial, con un ancho de banda variable proporcional a la frecuencia central, como se propuso, por Lachet y Bard, 1994, y Lachet et al., 1996 citado en Bard, 1999), y también se muestran a depender en gran medida del coeficiente de Poisson. Este último, sin embargo puede ser considerada como muy alta (más allá de 0,45) para la mayoría de los suelos blandos saturados de agua.

De todos modos, cualesquiera que sean los propios sentimientos acerca de esta correlación, otro paso es necesario relacionar la curva suavizada elipticidad a los valores reales, medidos A^{NHV} : se refiere a la proporción de Love y las ondas de Rayleigh en el campo de onda de ruido. Hay muy pocos datos están disponibles en ese sentido. Konno y Ohmachi (1998) se basan en Miyadera y Tokimatsu (1992 citado en Bard, 1999) para asumir una proporción de 60% para las ondas de Love y el 40% de las ondas de Rayleigh, que les permiten proponer que el resultado final, la correlación simple.

$$A^{NHV} \approx 2.5 R_B \approx A_{H0}$$

Donde:

A^{NHV} es la amplificación el cociente espectral entre la componente horizontal y vertical

R_B es el pico del cociente espectral suavizado Konno y Ohmachi.

A_{H0} es la amplificación de las ondas S

Uno puede observar que esta proporción Love / Rayleigh es diferente de la encontrada por Chouet et al. (1998 citado en Bard, 1999) de temblores volcánicos (30% - 70%, respectivamente), lo que llevaría a una correlación modificada.

$$A^{NHV} \approx 1.4 R_B \approx 0.6 A_{H0}$$

Sin embargo, el punto importante a dilucidar sobre la proporción de las ondas de Love y las ondas de Rayleigh es si es dependiente de la frecuencia o no. Si no, una relación directa entre A^{NHV} y A_{H0} se derivan de la relación entre la R_B y A_{H0} - si esta última relación no existe.

Los puntos importantes para ser comprobados, relativo a la Konno y Ohmachi proponer correlaciones de amplitud por lo tanto se pueden resumir como sigue:

- La medición de la proporción de las ondas de cuerpo y de Rayleigh en la componente vertical de ruido, en muchos lugares diferentes.
- Comprobación de la correlación entre R_B y A_{H0} para un gran número de unos perfiles de velocidad medidos, con valores de V_p real y V_s .
- Analizar el efecto de los parámetros de suavizado tanto en los valores de R_b teóricos y los valores medidos A^{NHV} .
- La medición de la proporción relativa entre ondas de Rayleigh y Love de ruido en el campo de onda, y analizando su dependencia de la frecuencia.

2.2.2.-EXPLICACIÓN DE NAKAMURA: VÍNCULO CON LAS ONDAS DE CUERPO

En resumen, la interpretación del Nakamura del cociente H/V se basa en la suposición de que el efecto de las ondas superficiales pueden ser "eliminado", de modo que el resultado final, está en relación directa con las funciones de transferencia para las ondas S. Su primera explicación (Nakamura, 1989) se basa en tres supuestos fuertes y recibió muchas críticas por varios científicos (Kudo, 1995 citado en Bard, 1999), lo que llevó a una segunda explicación, ligeramente modificado (Nakamura, 1996). En pocas palabras, se separa los microtremores en las ondas de cuerpo (subíndice b) y las ondas superficiales (subíndice s):

$$S^{NH}(f) = S_b^H(f) + S_s^H(f) = H_T(f) \cdot R_b^H(f) + S_s^H(f)$$

$$S^{NV}(f) = S_b^V(f) + S_s^V(f) = H_V(f) \cdot R_b^V(f) + S_s^V(f)$$

Dónde $R_b^H(f)$ [resp., $R_b^V(f)$] es la [resp., Vertical] espectro de Fourier en la componente horizontal de ondas de cuerpo del ruido en el sitio de referencia, $H_T(f)$ [resp., $V_T(f)$] es la "verdadera" frecuencia que depende en función al sitio de amplificación para la componente horizontal, y S_s^V corresponde al espectro de Fourier para ondas superficiales en la componente vertical [resp., $S_s^H(f)$].

Entonces, después de un poco de álgebra, y dejando escribir la notación (f) para la dependencia de la frecuencia, la relación H/V entre S^{NH} y el S^{NV} se puede escribir como:

$$A^{NHV} = [H_T \cdot A_r^{HNV} + \beta \cdot A_s] / [V_T + \beta]$$

Donde

- A_r^{HNV} es el cociente espectral H/V en el sitio de la roca
- β es la proporción relativa de las ondas superficiales en microtremores medida en el componente vertical.

$$\bullet \beta = S_S^V(\mathbf{f}) / R_b^V(\mathbf{f})$$

- A_S es el cociente horizontal entre vertical, debido a las ondas de superficie solamente, es decir,

$$\bullet A_S(\mathbf{f}) = S_S^H(\mathbf{f}) / S_S^V(\mathbf{f})$$

El siguiente paso, que consiste en asumir que

$$A^{HNV}(\mathbf{f}_{H0}) = H_T(\mathbf{f}_{H0})$$

por lo tanto requiere de los siguientes supuestos:

- I. La componente vertical no se amplifica en f_{H0}
- II. La relación H/V en roca es igual a 1 en f_{H0}
- III. β es mucho menor que 1 en f_{H0}
- IV. $\beta \cdot A_S(f_{H0})$ es también mucho menor que la $H_T(f_{H0})$

Mientras que los incisos I) y II) puede ser aceptada con bastante facilidad en la base de la experiencia, los incisos III) y IV) son más controvertidos.

La afirmación final se encuentran en algunos papeles, según el cual $A^{HNV} = H_T$ sea cual sea la frecuencia, requiere de los supuestos anteriores I) a IV) para ser válida cualquiera que sea la frecuencia, que no es del todo obvio, incluso para los temas I) y II). La gran cantidad de trabajo realizado recientemente en relación con la "interpretación superficie de onda" del cociente espectral H/V, aporta nueva luz sobre la interpretación de la

de Nakamura y los supuestos. Considerando en primer lugar la relación la relación $A^{\text{HNV}} = H_T$ en el f_{H0} frecuencia fundamental, vemos que:

- El supuesto III) en relación con $\beta = S_S^V / R_b^V$ puede ser considerado como válido para perfiles de alta impedancia de contraste del suelo S_S^V se desvanece en torno f_{H0}
- Por el contrario, el supuesto IV), relativo al producto $\beta \cdot [S_S^H (f_{H0}) / S_S^V (f_{H0})]$ no puede ser aceptada, ya que el segundo término de este producto es muy grande. En realidad, esta cantidad total es igual a $S_S^H (f_{H0}) / R_b^V (f_{H0})$, que caracteriza a la amplitud horizontal de las ondas de cuerpo en la roca: no hay ninguna razón clara que admitir que esta proporción es pequeña comparada con la amplificación de la onda S.

Considerando ahora la relación extendida $A^{\text{HNV}} = H_T$ cualquiera que sea la frecuencia, podemos ver que ninguno de los supuestos III) y IV) pueden ser aceptadas sobre la base de la elipticidad. (Bard, 1999).

Por lo que Nakamura concluyó que el cociente espectral entre la componente horizontal y vertical del movimiento en un mismo sitio puede ser usada como un estimativo de los efectos de sitio para ondas internas. Un diagrama de flujo que muestra como estimar $SM(w)$ se muestra en la figura 2.2.

La técnica de Nakamura es muy atractiva, ya que elimina los efectos de fuente, patrón de radiación y trayecto que se presentan en los sismos. Sin embargo, la validez de la técnica de Nakamura no ha sido aun bien establecida, especialmente en estratos de suelos blandos muy profundos (Graü C. 2008).

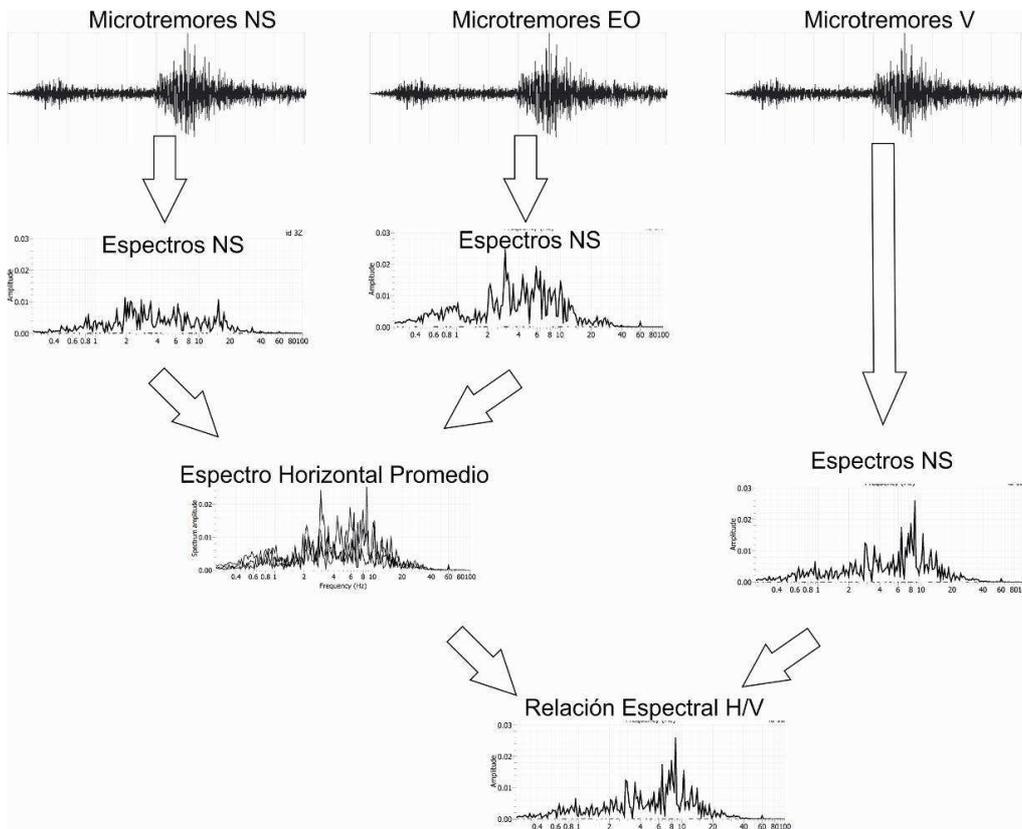


Figura 2.2. Diagrama de flujo para el procesamiento de señales con la técnica de cocientes espectrales H/V.

Lermo y Chávez-García (1993) compararon tres tipos de cocientes espectral: cociente espectral de movimientos horizontales fuertes con un sitio de referencia, cociente espectral de microtremores con un sitio de referencia y cociente espectral de microtremores horizontal (H) y vertical (V) (técnica de Nakamura). Concluyeron que la relación H/V da una mejor estimación del período predominante en un sitio y permite una estimación más aproximada del nivel de amplificación que el cociente espectral de microtremores entre dos sitios. Las comparaciones fueron hechas en tres sitios en la ciudad de México.

La técnica de cociente espectral H/V se destaca por la facilidad en la realización y el procesamiento de las mediciones, lo cual se traduce en los más bajos costos de entre todos los métodos. Este método se ha utilizado para diferenciar tipos de material (Lermo y Chávez-García, 1993, Alfaro et al., 1998, entre otros), e incluso ha servido para modificar planos geotécnicos (Alfaro, 1997).

Otra de las ventajas es que las mediciones se pueden realizar indistintamente con acelerómetro o con velocímetro (Alfaro, 1997) siempre y cuando los niveles de ruido ambiental tengan una amplitud mayor que el nivel de resolución del equipo, como es el caso de las grandes ciudades.

En cuanto a la estabilidad y variabilidad de los microtremores, aunque sus mecanismos de propagación no son muy claros, poseen un periodo predominante estable, así como ocurre en las señales de movimientos sísmicos fuertes. En efecto, a pesar de que los niveles de ruido ambiental varían a lo largo del día (Kanai y Tanaka, 1961; Nakamura, 1989; Alfaro, 1997), los coeficientes espectrales y el periodo predominante del suelo se mantienen invariables, sin embargo, se presenta alteración de la amplitud entre el día y la noche. Los análisis de estacionalidad permiten identificar además la presencia de fuentes fijas que excitan el suelo a determinadas frecuencias.

Según Nakamura (1989, 2000) el método del cociente espectral permitiría obtener la función de transferencia aproximada del suelo. Sin embargo, investigaciones teóricas y experimentales (Lachet y Bard, 1994) han demostrado que el método únicamente permite la determinación del período predominante. Pero tal vez la mayor limitación del método H/V, es que presenta vacíos teóricos (Konno y Ohmachi 1998), lo que explicaría el hecho de que en ciertos casos el método funcione (Lermo y Chávez-García, 1993) y en otros no.

En el año 2000 el debate acerca de la debilidad de los planteamientos teóricos del método de la relación espectral H/V parece haber sido completamente resuelto por Arai y Tokimatsu. De acuerdo con el desarrollo matemático de Arai y Tokimatsu en el año 2000 y con la inversión de la relación H/V para obtener las velocidades de ondas de corte V_s , se llenó el vacío teórico existente en cuanto a la validez de la utilización de la relación H/V para determinar las funciones de transferencia del suelo (Alfaro, 2005).

Arai y Tokimatsu basados en la teoría propuesta por Harkrinder en el año 1964, para las ondas superficiales que se propagan en un semiespacio infinito por diferentes capas, desarrollaron

formulas teóricas para la simulación de espectros de microtemores, en las cuales pueden ser considerados los modos fundamentales más altos. Ellos mostraron que el espectro teórico (H/V) para un perfil dado de suelo puede ajustar muy bien con el cociente espectral de microtemores (Alfaro, 2005).

3. GEOLÓGIA GENERAL

3.1. GEOLÓGICA REGIONAL Y LOCAL

El marco geológico del estado de Chiapas está conformado por los tres tipos de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, las cuales cubren un rango de edad desde el Paleozoico hasta el Reciente dividiendo al estado de Chiapas en seis provincias geológicas (en Casto-Mora et al., 1999) (Figura 3.1).

1. Cuenca Deltaica de Tabasco: Ocupa principalmente el extremo noroccidental del estado.
2. Cinturón Chiapaneco de Pliegues y Fallas: Constituye la provincia geológica más extendida en la entidad, ocupando prácticamente un 70% de la superficie estatal.
3. Batolito de Chiapas: Ocupa una franja de rocas plutónicas alineada en dirección NW-SE, que constituye una cadena montañosa que se levanta de manera paralela a la costa.
4. Macizo Ígneo del Soconusco: Provincia en la cual se incluye el entorno geológico del volcán Tacaná y rocas asociadas.
5. Cuenca de Tehuantepec: En ella se incluyen depósitos recientes localizados en la zona costera de la entidad.
6. La Provincia Cuicateca: Casi exclusiva del estado de Oaxaca, constituida por un cinturón de rocas de afinidad vulcano-sedimentaria epimetamórfica, que penetra al estado por su parte occidental.

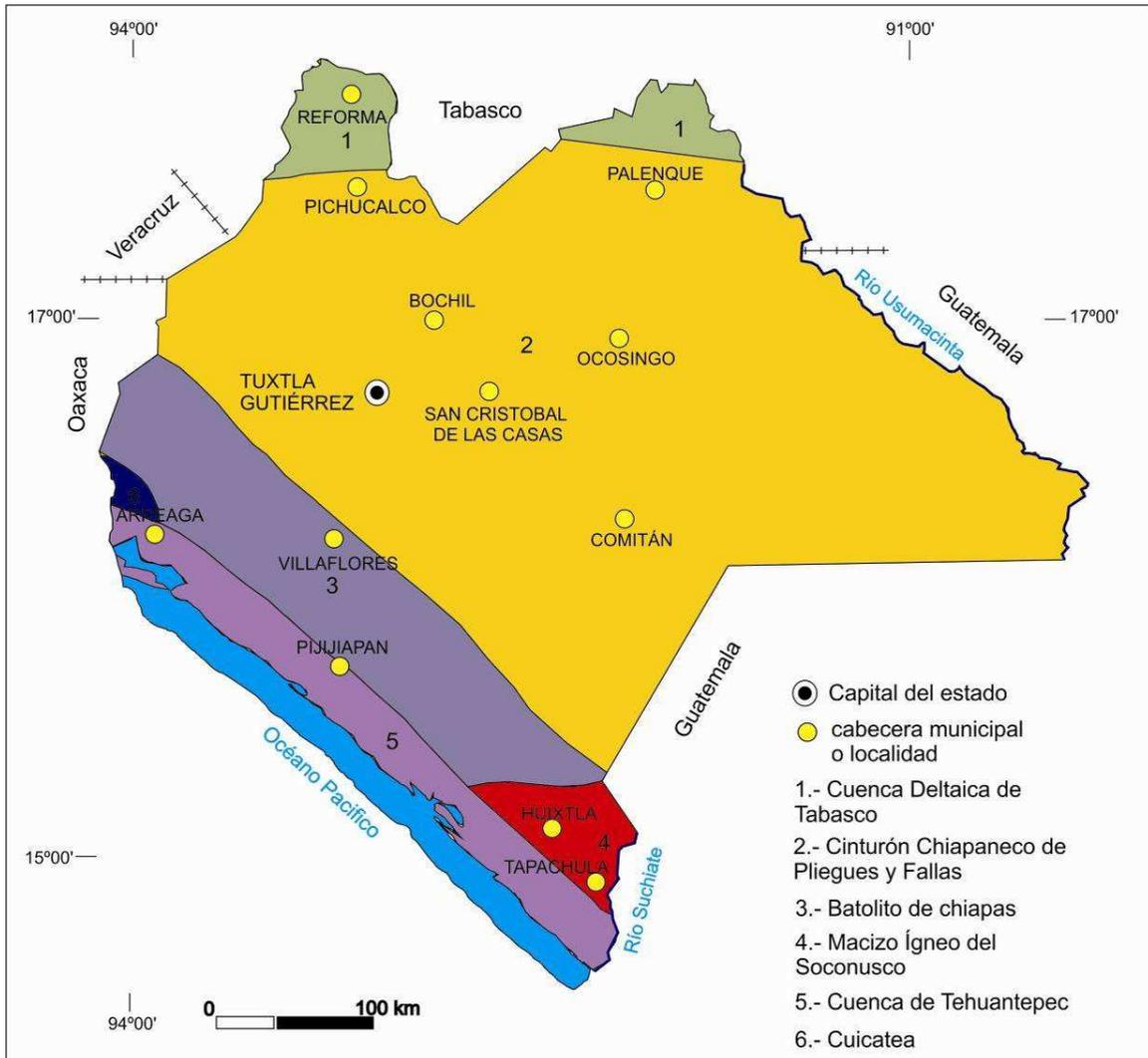


Figura 3.1. Mapa Geológico del estado de Chiapas. (Rediseño de Castro-Mora 1999)

El Macizo de Chiapas es la unidad que constituye el basamento del estado. El basamento rocoso está compuesto por rocas del Pérmico, como granito, dioritas y gneis cuarzo-feldespático (Castro-Mora et al, 1999). Sobre estas rocas se encuentran rocas del Paleozoico Superior representadas por una serie detrítica perteneciente a las formaciones Paso Hondo, Vainilla y Grupera, así como por rocas metamórficas que incluyen serpentinitas, esquistos, gneises y cuarcitas. Tales rocas se encuentran afectadas por intrusiones ígneas que varían de rocas básicas (gabros) a rocas ácidas (granitos). Todas estas rocas pertenecen al Batolito de Chiapas, cuyas edades isotópicas son únicamente en el Pérmico.

Cubriendo de manera discordante a las rocas del basamento, se tiene el depósito de rocas mesozoicas marinas que va del Triásico-Jurásico al Cretácico Superior. Esta secuencia de rocas han sido agrupadas en las formaciones Todos Santos, Mogoñé, San Ricardo, Chinameca, Grupo Sierra Madre, Ocozocoautla y Méndez, las cuales afloran principalmente en la porción centro septentrional de la entidad, constituyendo zonas montañosas muy abruptas de anticlinorios y sinclinorios cuyos ejes axiales están orientados en dirección NW-SE siguiendo el patrón de deformación de la provincia geológica de Pliegues y Fallas, fisiográficamente conocida como Sierra Madre del Sur, (Castro-Mora et al, 1999).

Las rocas mesozoicas, están concordantemente sobre un paquete de rocas cenozoicas cuyo rango de depósito abarca del Paleoceno (Formación Soyaló) al Plioceno (Formación Tres Puentes). Las rocas de la Formación Soyaló son de origen marino y constituyen depósitos rítmicos tipo flysch. Por su parte las rocas eocénicas son de naturaleza mixta (continental y marina), las cuales presentan capas rojas hacia el límite con el Oligoceno marino, cuyas rocas están representadas por calizas (Formación Macuspana) y rocas detríticas (Formación La Laja), (Castro-Mora et al, 1999.).

Las rocas del Mioceno son de origen marino y están conformadas por una serie arcillo-calcárea representadas, de la base a la cima, por las formaciones Encanto, Amate inferior y superior, Tulijá y Belem, las cuales se encuentran mejor expuestas hacia la porción septentrional de la entidad.

Las rocas del Plioceno-Holoceno están constituidas por depósitos de limos, arenas, arcillas y depósitos piroclásticos derivados de las actividades volcánicas del Chichonal y Tacaná, así como por materiales aluviales y suelos residuales. (Castro-Mora, et al 1999) (Figura 3.2).

COLUMNA GEOLÓGICA

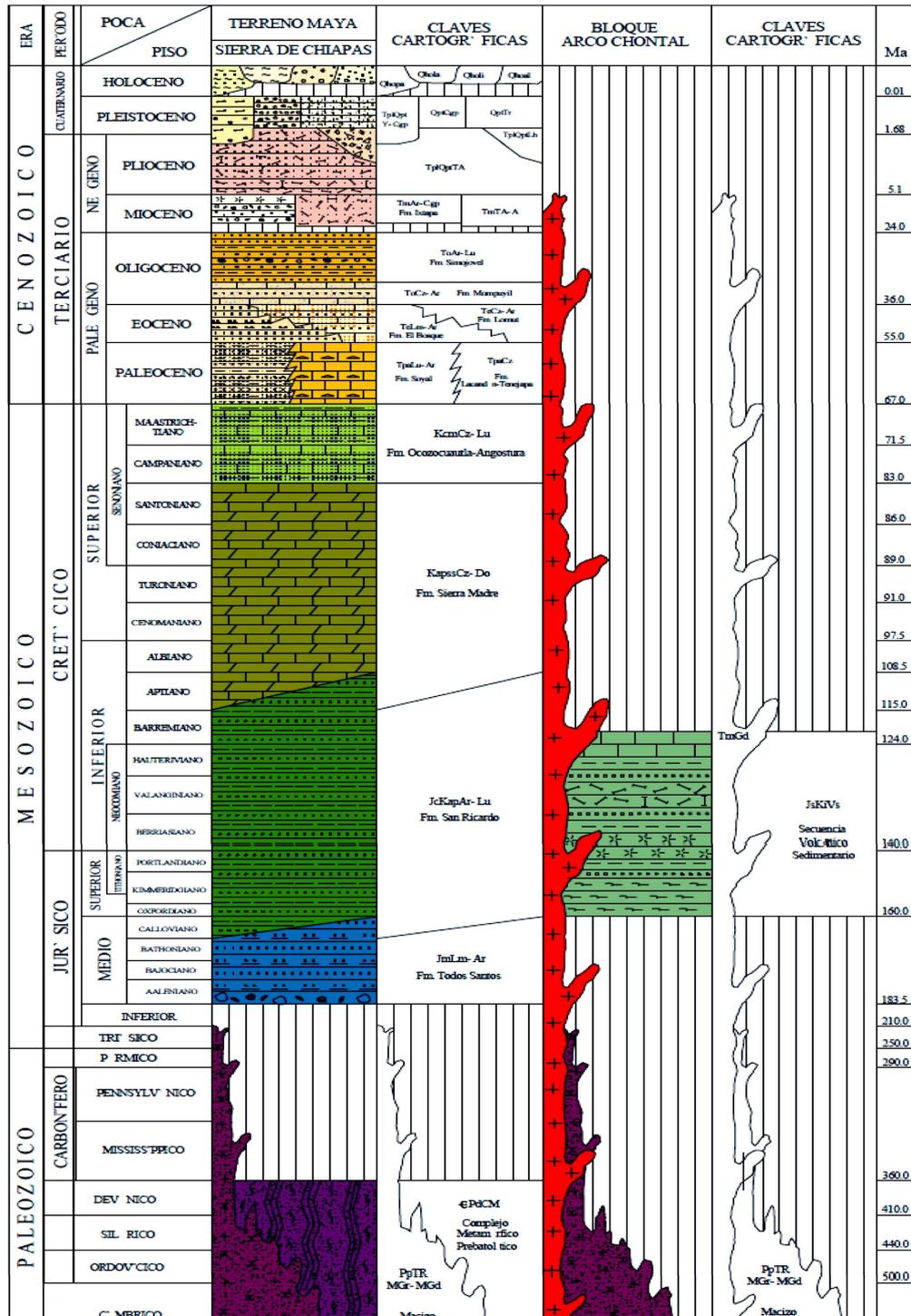


Figura 3.2. Columna litoestratigráfica (tomada de la Carta Geológico-Minera, E15-11) (INEGI 2012).

El Servicio Geológico Mexicano (2005) indica que las más notables por su dimensión y su trascendencia hacia otros geocomponentes son los siguientes:

1. La arenisca del terciario paleógeno, pertenece al subgrupo de las terrígenas y se localiza principalmente en la parte Norte, Centro – Oeste, Centro – Este y Sureste del municipio, el área que ocupa está estimada en 14,163 has.
2. La caliza cretácico superior, pertenece al subgrupo de las rocas carbonatas y se ubica principalmente en el Noroeste, Sur y Sureste de la zona de estudio con un área estimada en 8,781 has.
3. Otro tipo de roca que forma parte del subgrupo de las terrígenas es la limolita del Terciario paleógeno, la cual se presenta principalmente en las laderas de la meseta de Copoya con una extensión calculada en 5,257 has.
4. Los depósitos aluviales de Cuaternario son otro tipo de rocas sedimentaria que se localizan en las partes bajas de los valles, tienen un área estimada en 4,239 has.
5. Las lutitas pertenecientes al Terciario paleógeno, se localizan las laderas bajas de la meseta antes mencionada, y están asociadas con la limolita, ocupan un área de 1,705 has. (Figura 3.3).

El municipio de Tuxtla Gutiérrez se localiza en un área geológicamente activa, donde las fuerzas internas de la Tierra se manifiestan a través de la presencia de sinclinales, anticlinales, fallas y fracturas. Por tanto, todas las estructuras geológicas corresponden a un origen tectónico. (De la Rosa, 1989) (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Estructuras geológicas que se encuentran en la Subcuenca del Río Sabinal Fuente: De la Rosa, 1989.

Provincias Tectónicas		Plegamientos		Fallas
		Sinclinal	Anticlinal	
Sinclinalio Central		<ul style="list-style-type: none"> • Sinclinal Gijalva • Sinclinal Ocozacoautla • Sinclinal Copoya 	<ul style="list-style-type: none"> • Anticlinal Copoya 	
Fallas de Transurrencia		<ul style="list-style-type: none"> • Sinclinal La Venta • Sinclinal Malpaso • Sinclinal Ixtapa • Sinclinal Larránzar • Sinclinal Tenejapa • Sinclinal Chand • Sinclinal Tenango 	<ul style="list-style-type: none"> • Anticlinal Ocozacoautla • Anticlinal El Sumidero • Anticlinal Mono Pelado • Anticlinal Cheralhó • Anticlinal Cancuc • Anticlinal San Cristóbal • Anticlinal Oxchuc • Anticlinal Nazareth • Anticlinal Comitán 	<p>Área Occidental Presa Malpaso s Ixtapa *</p> <ul style="list-style-type: none"> • Falla Quintana Roo • Falla La Venta • Falla San Fernando • Falla Malpaso-Muñiz • Falla Chicasén Malpaso • Falla Chacté, Ocosingo <p>Área Oriental de Ixtapa a Ocosingo*</p> <ul style="list-style-type: none"> • Falla Bajucú • Falla Huixtán • Falla Oxchuc • Falla Chacté, Ocosingo

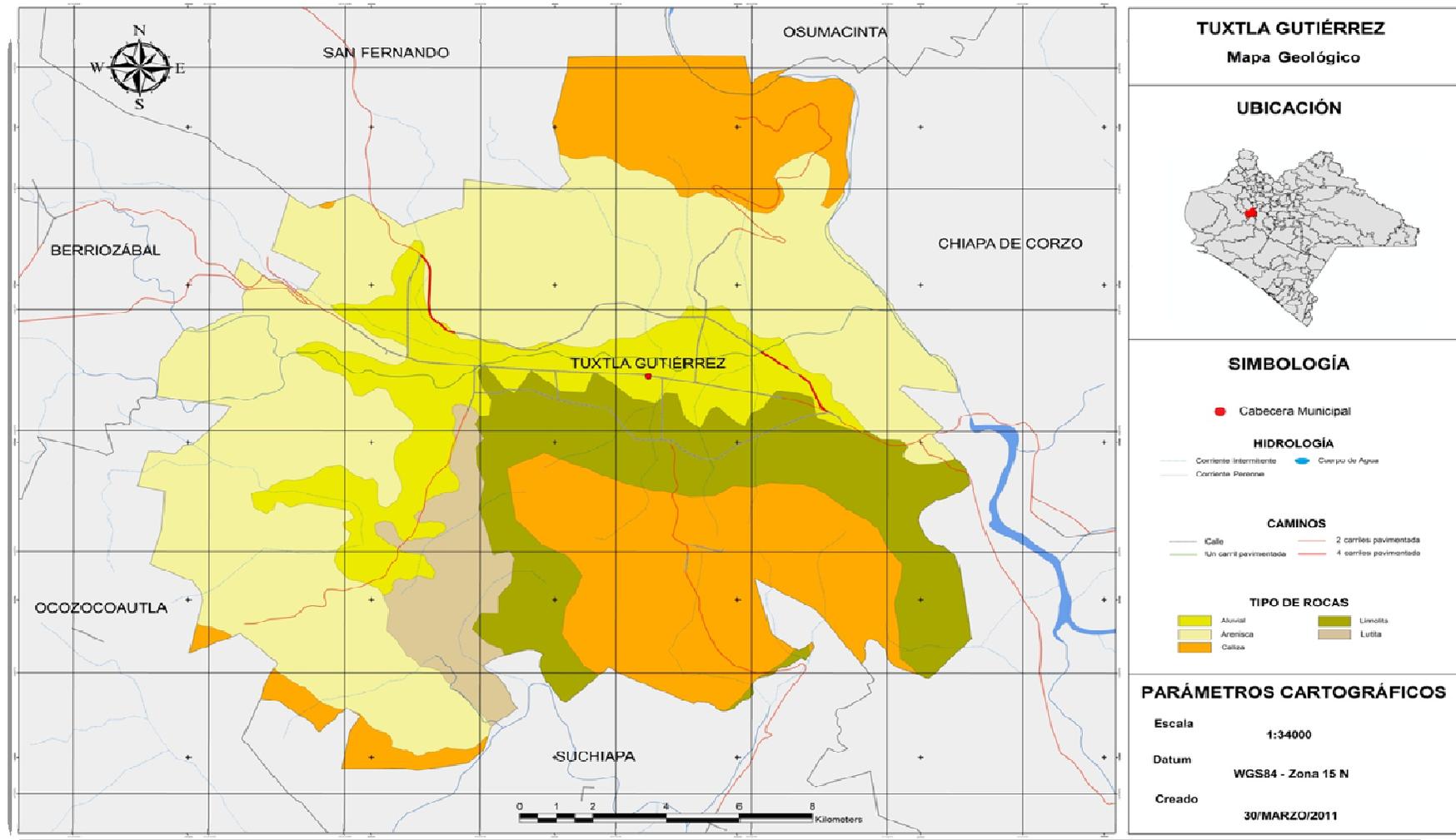


Figura 3.3 Mapa Geológico de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Cortesía: Ing. Balcázar R.

Como respuesta a los hechos y fenómenos geológicos que han tenido lugar en diferentes tiempos, y con base a la cartografía elaborada por el Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática (1984) y el Servicio Geológico Mexicano (2005), se puede decir que las rocas del territorio municipal pertenecen al grupo de las sedimentarias, tanto del subgrupo de las terrígenas, como de las carbonatadas (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Tipo de rocas presentes en la Subcuenca del Río Sabinal, Chiapas.

Eras				Rocas sedimentarias y volcano sedimentarias			
CENOZOICO	Cuaternario	Terciario Superior	Pleistoceno y reciente		Suelos		Andesitas y dacitas
	Terciario		Plioceno		Ts	Tpl	Andesitas y dacitas, diorites, granodiorita
			Mioceno			Tm	Granito
		Oligoceno	Ti		To		
		Eoceno			Te		
		Paleoceno			Tp		
Terciario Inferior			al				
MESOZOICO	Cretácico	Cretácico superior		K	Ks	Calizas, margas, lutitas	

3.2. FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA

La parte centro – noroeste del estado de Chiapas, y de acuerdo a la clasificación fisiográfica elaborada por Mullerried (1957), el municipio de Tuxtla Gutiérrez se ve insertado en la unidad orográfica denominada: “Depresión de Chiapas”, la cual está constituida por una serie de depresiones amplias de fondo plano a ondulado, las cuales son interrumpidas por montañas, lomeríos y colinas.

El análisis orográfico, indica que el relieve del territorio municipal es heterogéneo, debido a la presencia de valles, los cuales están rodeados por otros tipos de relieve como: a) colinas, b) lomeríos y c) montañas.

Las elevaciones de mayor altitud (hasta 1,300 m.), se localizan en la parte noreste, dentro del Parque Nacional Cañón del Sumidero; sin embargo, estas no son las únicas, ya que existen otras de menor altitud (hasta 1,000 m.), como la Loma del Taraí y el Cerro Tapongozoc, que se localizan al norte y noroeste de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

La parte centro y suroeste del municipio se localizan el valle de Tuxtla y Suchiapa, los cuales destacan por ser las tierras más bajas, ya que poseen un rango de altitud calculado entre los 400 – 600 m. Este tipo de orografía presenta poca pendiente con un fondo plano a ondulado.

La zona sur y suroeste del valle se encuentra la meseta de Copoya, la cual es una montaña que presenta una geometría considerada como plana a ondulada en sus partes altas; sin embargo, en el extremo oeste sobresale una elevación de 1, 000 m., de altitud conocida como “El Cerro Mactumatzá” (Figura 3.4).



Figura 3.4. Modelo de elevación digital de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

El marco geológico antes señalado, y el análisis morfológico y morfométrico (Lugo, 1988), (Priego, et al 2008) se reconocieron las siguientes geoformas superiores: I) Montañas, II) Lomeríos, III) Pie de monte, IV) Valle. Sin embargo, se caracterizó con mayor detalle la zona urbana y suburbana logrando reconocer las unidades inferiores como cimas, laderas, cornisa, dolina, colinas, valle tectónico, valle intermontañoso, y Lecho de inundación superior e inferior.

El tipo de litología presente para cada unidad de relieve determinó los ambientes geo–geomorfológicos, además de esclarecer la correspondencia espacial que existe entre los ambientes geomorfológicos y la morfometría presente en el municipio de Tuxtla Gutiérrez.

Las montañas y lomeríos considerados como unidades superiores, junto con sus cimas, dolinas y uvalas (unidades inferiores), formados por roca caliza y dolomía, presentan una génesis de tipo tectónico – cárstico, en donde se manifiesta un proceso de disolución de los materiales litológicos por lo que no es frecuente encontrar escurrimientos superficiales. Ante esta situación, el presente tipo de relieve posee una densidad de cauces valorada de mediana a muy baja ($< a 4,781 \text{ m/ Km}^2$), las pendientes por su parte describen terrenos moderadamente inclinados ($< a 15^\circ$) a planos ($< a 1^\circ$). Sobre este tipo de relieve se establece un dominio de suelos expansivos como el vertisol pélico y la rendzina, los cuales están alternados por suelos someros como el litosol, sobre todo en aquellos terrenos en donde la pendiente es mayor a los 10° . Ante la estructura antes señalada y procesos que tienen lugar

en este tipo de relieve, los peligros geológicos y geomorfológicos más probables para este tipo de ambiente es la erosión de tipo cárstica (Lugo, 1988), (Priego, et al 2003).

La unidad morfogenética presente en el municipio es la tectónica – erosiva, la cual contempla los sistemas montañosos y lomeríos como unidades superiores, además de las cimas, cornisas, laderas, valle intermontano y tectónico como unidades inferiores. Este tipo de relieve al estar formado por arenisca, lutita y limolita, presenta una considerable escorrentía superficial, la cual se manifiesta con altos valores en su disección vertical ($> 274 \text{ m/Km}^2$), así como en la densidad de cauces ($> \text{a los } 3, 173 \text{ m/Km}^2$); además, las laderas presentan ángulos de inclinación elevados ($> \text{a los } 10^\circ$), bajo este panorama, se puede decir que la presente zona se establece un ambiente de morfogénesis. Aunado a lo anterior, sobre este tipo de relieve se establecen suelos de tipo someros como la rendzina, litosol, y regosol calcárico sujetos a movimientos internos (fallas y fracturas). Por lo anterior, se puede concluir que las geoformas incluidas en este tipo de génesis presentan flujos, deslizamientos, derrumbes.

En la zona de estudio se reconoce una génesis del relieve de tipo fluvial – acumulativa, la cual contempla unidades superiores como las colinas, el pie de monte y los valles, además de los lechos mayores y menores de inundación considerados como unidades inferiores. Debido a su posición geográfica (la parte más baja de la zona de estudio), este tipo de relieve está constituido por materiales blandos no consolidados conocidos como depósitos aluviales poligenéticos, los cuales son arrastrados por los diferentes cauces que bajan de las montañas hacia el valle; los indicadores morfométricos establecen una disección vertical muy baja ($< \text{a } 32 \text{ m//Km}^2$), así como densidad de ríos clasificada como alta a muy alta ($> \text{a los } 2,478 \text{ m//Km}^2$), lo anterior se establece sobre con un dominio de pendientes determinadas entre ligeramente inclinado ($3 - 5^\circ$) hasta superficies planas ($< \text{a } 1^\circ$), pasado por las muy ligeramente inclinadas ($1 - 3^\circ$); por tanto, esta situación geomorfológica genera un ambiente acumulativo. Con base a las condiciones abióticas (litología, geomorfología y climáticas), así como bióticas (tipos de vegetación) que se encuentran en el lugar, originan el establecimiento de suelos de tipo profundo y expansivos como es el vertisol pélico y fluvisol, los cuales están sujetos a fenómenos de inundación de tipo ordinario como

extraordinario (Lugo, 1988, Priego, et al 2008), en la figura 3.5 se muestra el mapa edafológico y la distribución del tipo de suelo en la ciudad de Tuxtla.

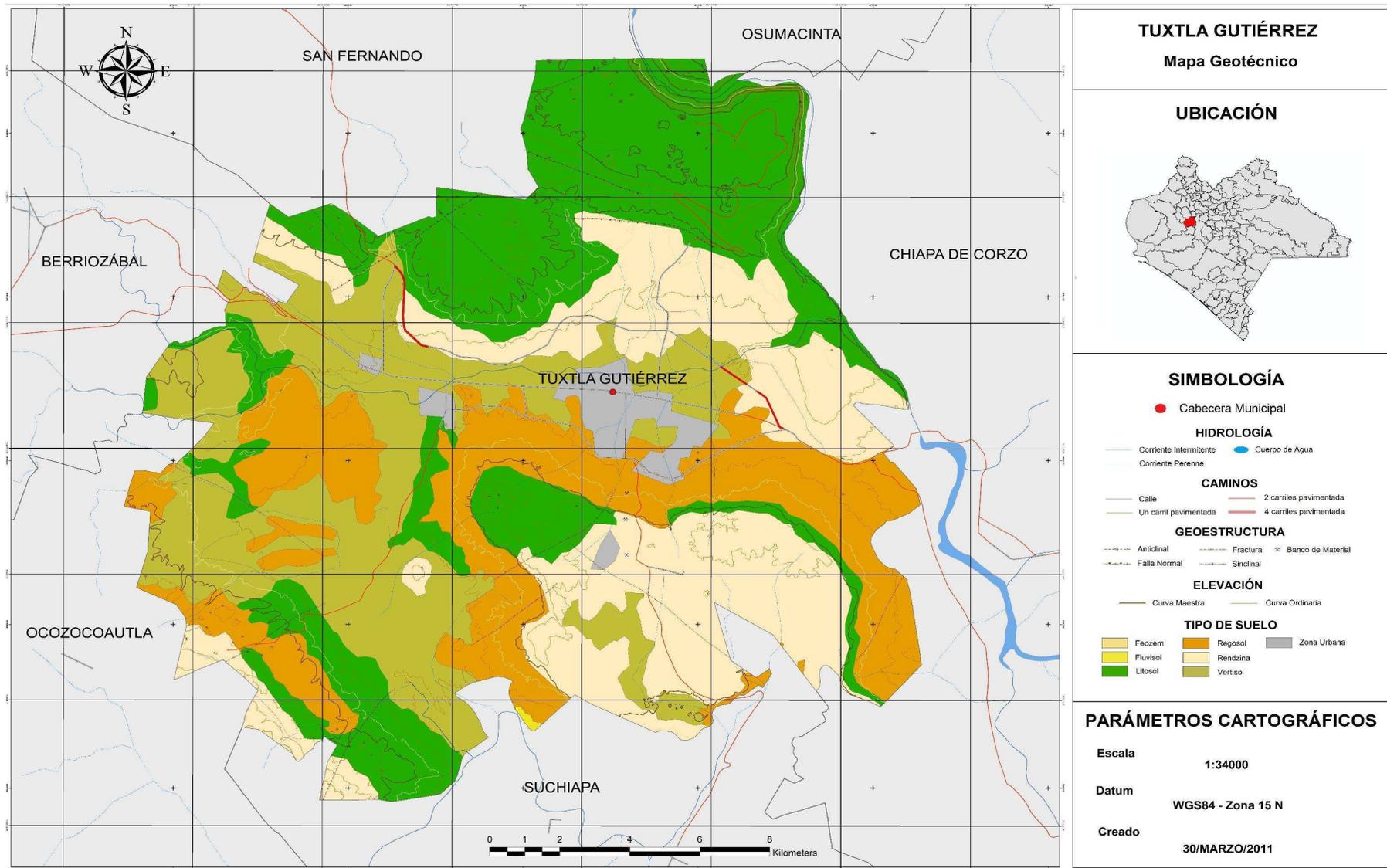


Figura 3.5.- Mapa geotécnico de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Cortesía: Ing. Balcázar R.

3.3. MARCO TECTÓNICO

La región chiapaneca es considerada a nivel nacional, como altamente propensa a la actividad sísmica, ya que se encuentra afectada por un complejo sistema de fuerzas tectónicas derivadas de la interacción de placas tectónicas.

La cantidad de energía que liberan los sismos de origen tectónico son los de mayor importancia. El origen de los movimientos tectónicos tiene su explicación, actualmente en la dinámica de los procesos internos de la Tierra. Una de las hipótesis aceptadas explica que los materiales más profundos del manto superior se calientan y pierden densidad, por lo que tienden a subir, generando lo que se conoce como celdas convectivas (Figura 3.6) este proceso es análogo al observado en un recipiente de agua en ebullición (Narcía, 2009).

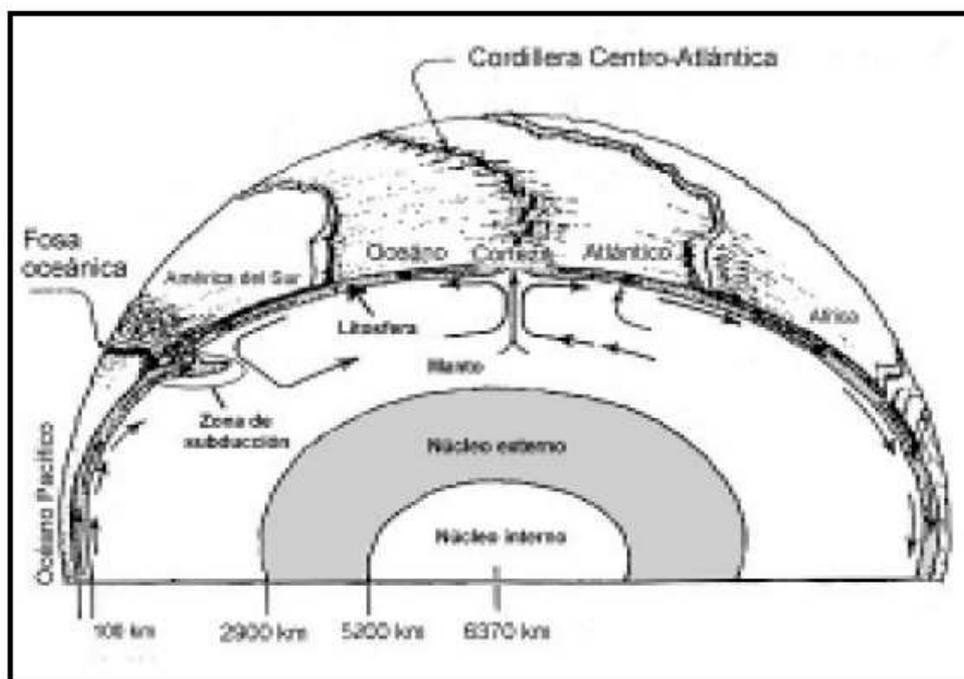


Figura 3.6. Dinámica de la Tierra, representada en sección transversal. Las placas tectónicas formadas por la corteza y parte del manto superior, se desplazan lateralmente sobre la capa del manto inferior Fuente (CENAPRED 2001).

Los movimientos del manto, que son demasiado lentos para nuestra percepción del tiempo, se transmiten en la base de la litósfera, que esta fracturada y formada por varios bloques. Con el paso del tiempo, la litósfera va acumulando energía en diversas zonas y generalmente los bordes de sus piezas (placas tectónicas) alcanzan niveles de esfuerzos mayores a la resistencia de la roca. Como consecuencia, existe una liberación de esfuerzos expresada como desplazamientos repentinos que hacen vibrar a las rocas y se producen los sismos (Narcía, 2009).

En México interactúan tres grandes placas tectónicas que generan la mayor cantidad de sismos: Cocos, Norteamérica y Caribe (Figura 3.7). El movimiento entre las placas del Caribe y de Norteamérica es de tipo lateral izquierdo, cuyo límite transformante está representado por una serie de fallas geológicas que todavía presentan un trazo incierto. Por otra parte, la placa de Cocos subduce por debajo de las placas mencionadas y el límite convergente en donde empieza este proceso está representado por la trinchera mesoamericana localizada a 5500 m por debajo del nivel medio del Océano Pacífico. Este proceso aporta mayor cantidad de energía sísmica al fenómeno y ha generado sismos de profundidades considerables. (Narcía, 2011)

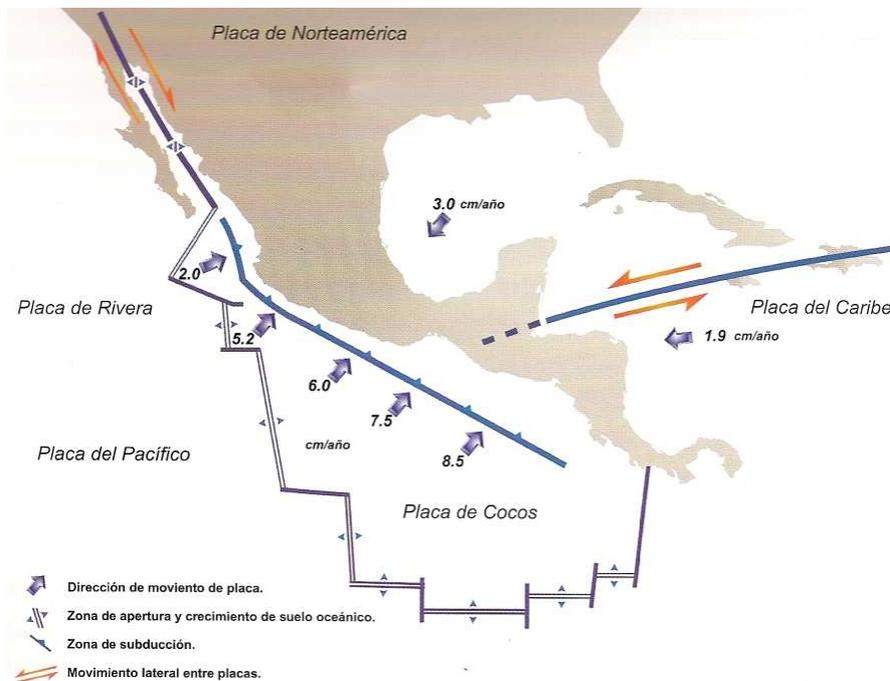


Figura 3.7.- Tectónica general de México, en la que se señalan las velocidades de desplazamiento relativo de las placas regionales y los límites existentes. Fuente *Atlas de riesgos de México*.

La placa de Cocos subduce, en la parte sureste del estado, a una tasa de 7.5 cm por año, según el modelo tectónico NUVEL-1 (Sedlock et al., 1993 en Narcía, 2009), con una característica tectónica importante: existe un incremento del ángulo de subducción desde regiones al este del Istmo de Tehuantepec, desde 25°, hacia zonas por debajo del estado y Centroamérica, hasta 40° (Espíndola, 1996). En la Figura 3.8 podemos observar el modelo propuesto por Espíndola.

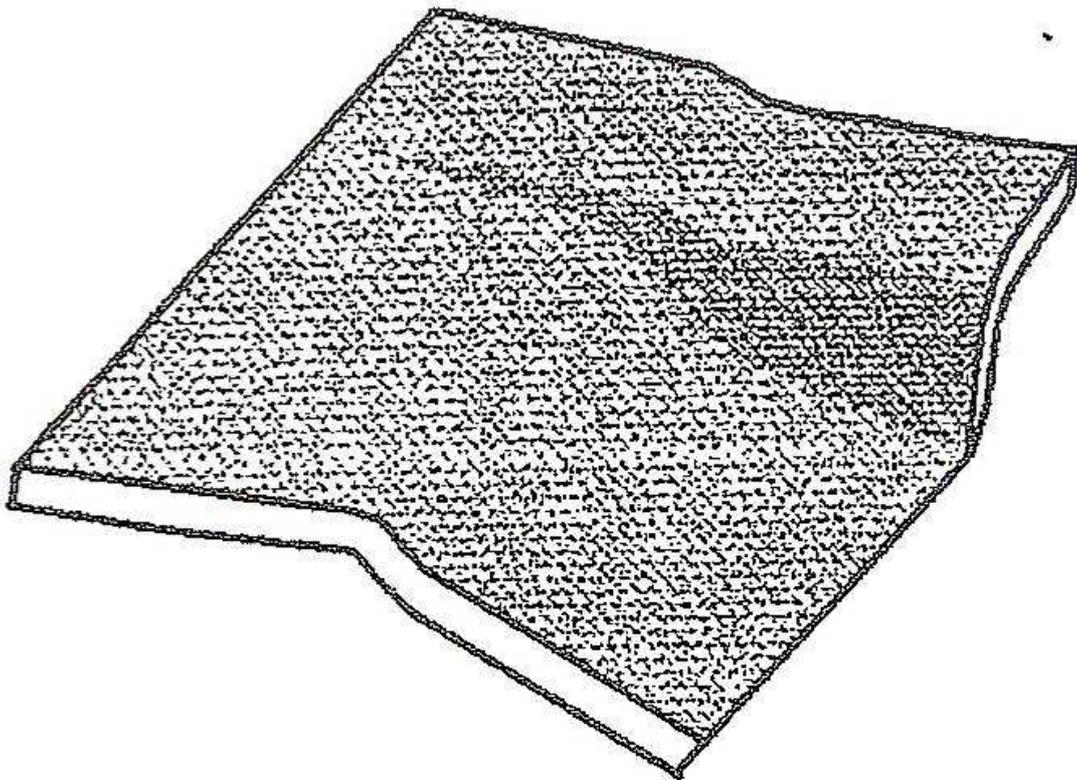


Figura.3.8- Modelo geométrico de la Placa de Cocos por debajo del estado de Chiapas, propuesto por Espíndola, (1996).

La litósfera juega un papel importante en la sismogénesis regional, ya que en la parte somera de la placa de Cocos, al contacto con la placa de Norteamérica, se generan eventos interplaca con mecanismos focales vinculados a fallas inversas. Esta compresión debe ser, en buena parte, también la causante indirecta de la sismicidad somera generada en las fallas internas del estado.

Por otro lado, la parte de la placa de Cocos que penetra hasta profundidades considerables (aproximadamente hasta 300 km), genera sismos intraplaca, debido a rompimientos internos, con mecanismos focales asociados a fallas normales. Por debajo de esta zona, según el pensamiento tectónico actual, la placa se funde y sus materiales penetran a la corteza por debajo, dando lugar a la formación de volcanes, que también en su dinámica interna son generadores de microsismos, con mucha menor energía que los sismos generados en el proceso de subducción, que son los más peligrosos . (Narcía, 2011).

Finalmente, la interacción entre las placas del Caribe y Norteamérica, en su movimiento lateral izquierdo, también genera sismicidad somera que puede liberar mucha energía, como es el caso del sismo generado el 28 de Mayo de este año, a 10 km de profundidad, al que se le asoció una magnitud de 7.3, al norte de Honduras, en los límites entre las placas mencionadas. (Narcía, 2011).

El estado de Chiapas consta de cuatro provincias tectónicas: la provincia de las fallas inversas, la provincia de las fallas laterales, el batolito de Chiapas y las fallas de Motagua-Polochic (Guzmán y Meneses, 2000). La provincia tectónica de las fallas laterales cubre casi en su totalidad a la Sierra de Chiapas, está formada por un conjunto de bloques que se hundén y se levantan, limitados por fallas laterales izquierdas. En la parte este de la provincia de las fallas laterales, las fallas tienden a estar orientadas en la dirección este-oeste, mientras que en las áreas centrales y occidentales las fallas se orientan en la dirección de N 50° W. Hay nueve fallas mayores de rumbo en esta provincia tectónica; las más largas están en el rango de 120-170 km de longitud (Tecpatán-Ocosingo, Malpaso, y Telestaquín-San Cristóbal). La sismicidad de esta provincia tectónica se caracteriza por sismos moderados y someros (Guzmán y Meneses, 2000).

La provincia tectónica de fallas inversas ocupa la porción del este de la Sierra de Chiapas y la parte centro-norte de Guatemala. Esta provincia tiene una tendencia estructural en forma de una “z” ancha, formada por anticlinales estrechos cortados a lo largo de sus flancos por fallas inversas. La sismicidad asociada a esta provincia tectónica es menor que en la provincia de las fallas laterales (Guzmán y Meneses, 2000). El Istmo se caracteriza por una topografía de bajo relieve; al este se encuentra la Sierra de Chiapas y al oeste la de Oaxaca. Ambas sierras presentan alturas que alcanzan 2000 m sobre el nivel del mar en promedio.

La Sierra de Chiapas corresponde al macizo o batolito de Chiapas. El batolito de Chiapas se extiende desde el Istmo de Tehuantepec hasta la frontera con Guatemala, tiene una longitud aproximada de 300 km con una orientación NW-SE y un ancho de aproximadamente 75 km, está compuesto por rocas intrusivas de composición graníticas a granodioríticas (Rodríguez, 2007).

La corteza en Chiapas presenta variaciones significativas, característica que también puede modificar el nivel de peligro al que nos enfrentamos. Afirma Narcía (Narcía-López, 2002), que la corteza puede tener espesores en el orden de los 49 km. En la Figura 3.9 se muestra el modelo propuesto, que representa la discontinuidad de Moho, entre la corteza y manto superior, vista desde arriba.

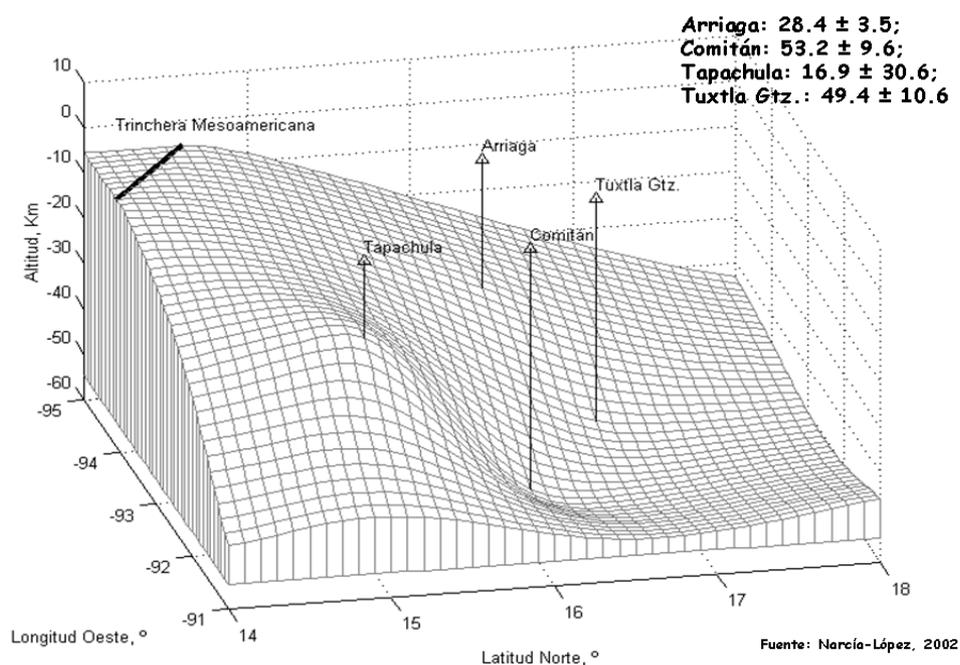


Figura 3.9.- Modelo propuesto por Narcía-López en 2002. La superficie representa la discontinuidad entre la corteza y el manto superior.

3.4. MARCO SÍSMICO

El desplazamiento de subducción entre la Placa de Cocos y la Placa Norteamericana se da de manera irregular, creando esfuerzos intensos a lo largo de los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero, que al liberarse son la causa el 90 por ciento de la energía elástica liberada en forma de sismos en toda esta región (CENAPRED, 2006 a).

Los movimientos suelen estar asociados con grandes estructuras de la corteza terrestre denominadas fallas, de los cuales en el territorio Chiapaneco existen numerosas de ellas. Algunas de estas fallas pueden encontrarse activas o tienen tales características que permiten suponerlas, debido a que han tenido alguna actividad sísmica. Las principales fallas regionales se localizan al noreste del estado y en el año de 2010 se presentó actividad sísmica en el municipio de Las Margaritas.

El municipio de Tuxtla Gutiérrez se encuentra localizado en la zona C, de peligro intermedio, con aceleraciones acotadas por los límites A y D, menores al 10% de g y superiores a 70% de g respectivamente, la zona de peligro, en el mapa de regionalización sísmica (Figura 3.10.); encontrándose que todo el municipio es altamente afectado por sismos cuyas intensidades pueden llegar al 30% de aceleración; más allá del mínimo necesario para la implementación de un reglamento de construcción (CENAPRED, 2006 b).

El historial sísmico de Chiapas, la región está considerada junto con Oaxaca y Guerrero, como los Estados de mayor actividad sísmica del país. (Sistema Estatal de Protección Civil, 2010). Se considerarán áreas de actividad sísmica aquellas zonas que a lo largo del registro histórico se han visto afectadas por fenómenos de naturaleza sísmica. (Figura 3.11).

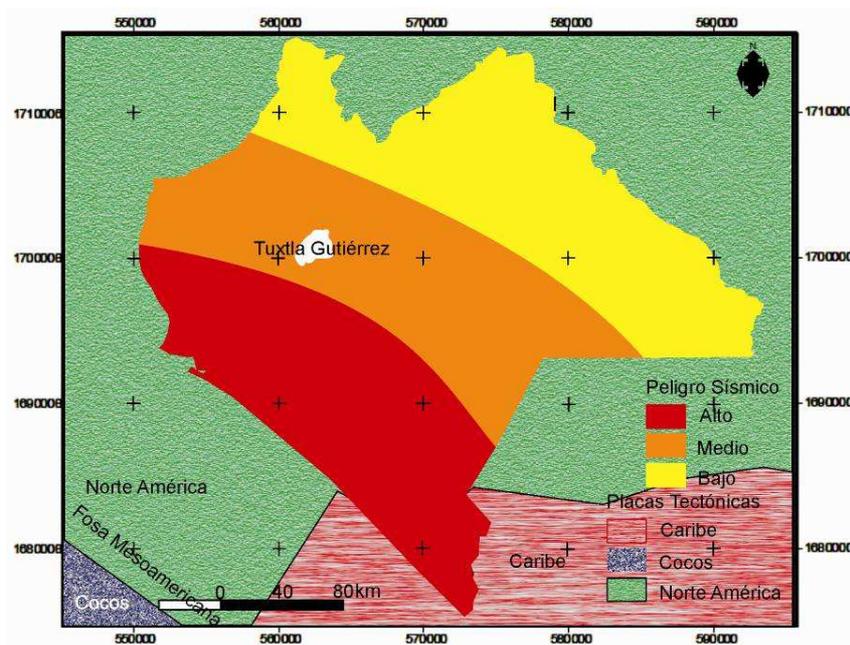


Figura. 3.10. Regionalización sísmica de Chiapas.- Atlas de Peligros del estado de Chiapas.

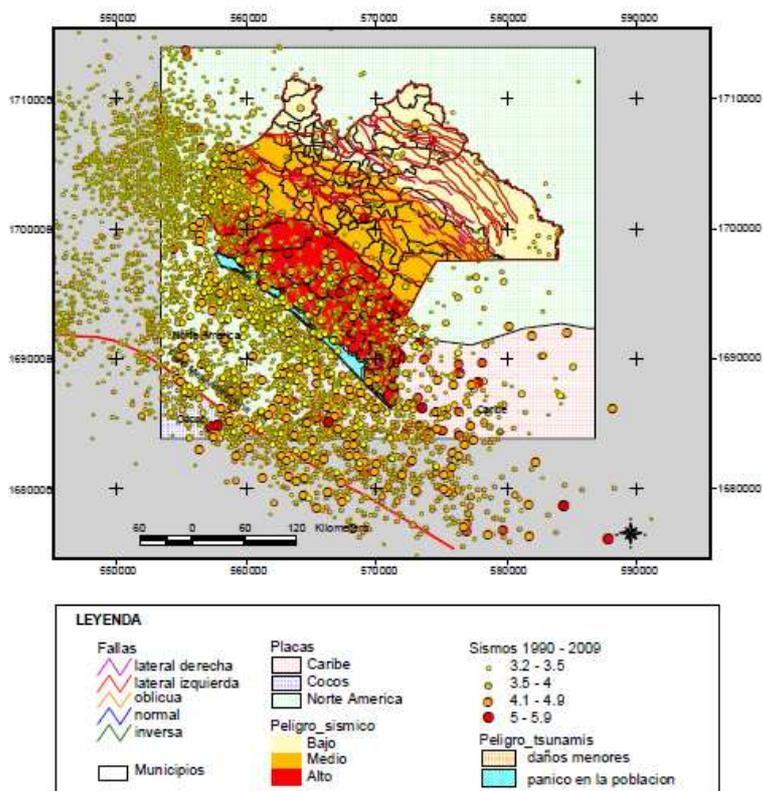


Figura 3.11. Eventos sísmicos ocurridos en el período 1990-2009. Atlas de peligros del estado de Chiapas;

Fuente SSN

La localización en el mapa de regionalización sísmica o magnitudes y localizaciones de sismos, no dan una idea clara del impacto en el municipio, esto debido a la localización de los mismos, la distancia que los separa del área de estudio y el efecto de sitio por suelos blandos (Ramos, 2010).

Los mapas de intensidades de Mercalli, describen de manera sencilla la distribución espacial de los efectos en el terreno y las construcciones, asociada a la ocurrencia de un evento en particular en el tiempo que no indican cuál es la probabilidad de que ello ocurra nuevamente.

4. ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1. ADQUISICIÓN DE REGISTROS DE MICROTREMORES

La adquisición de los datos de microtremores en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez se obtuvo trazando una configuración de arreglos sobre el mapa de la ciudad, distribuyendo los registros uniformemente, la distribución de estos registros se tomó con base en la densidad de población y estructuras económicas importantes para el municipio. Además, por la necesidad de realizar una triangulación entre puntos para poder cubrir una mayor superficie del terreno al interpolar las medidas experimentales. Delimitamos con una mayor aproximación las zonas con accesibilidad para tomar dichos registros, con lo anterior, se realizan 350 mediciones de microtremores, donde el 50% está en la parte central, permitiendo densificar el área de estudio. En la Figura 4.1 se muestra el mapa, donde se indican los puntos de registro. La toma de datos se desarrollo durante los meses de enero a junio de 2011.

A continuación se describen los equipos empleados para realizar las mediciones; los parámetros considerados para efectuar la adquisición; así como la metodología llevada a cabo para el proceso de obtención de datos de microtremores.

REGISTRO DE MICROTREMORES

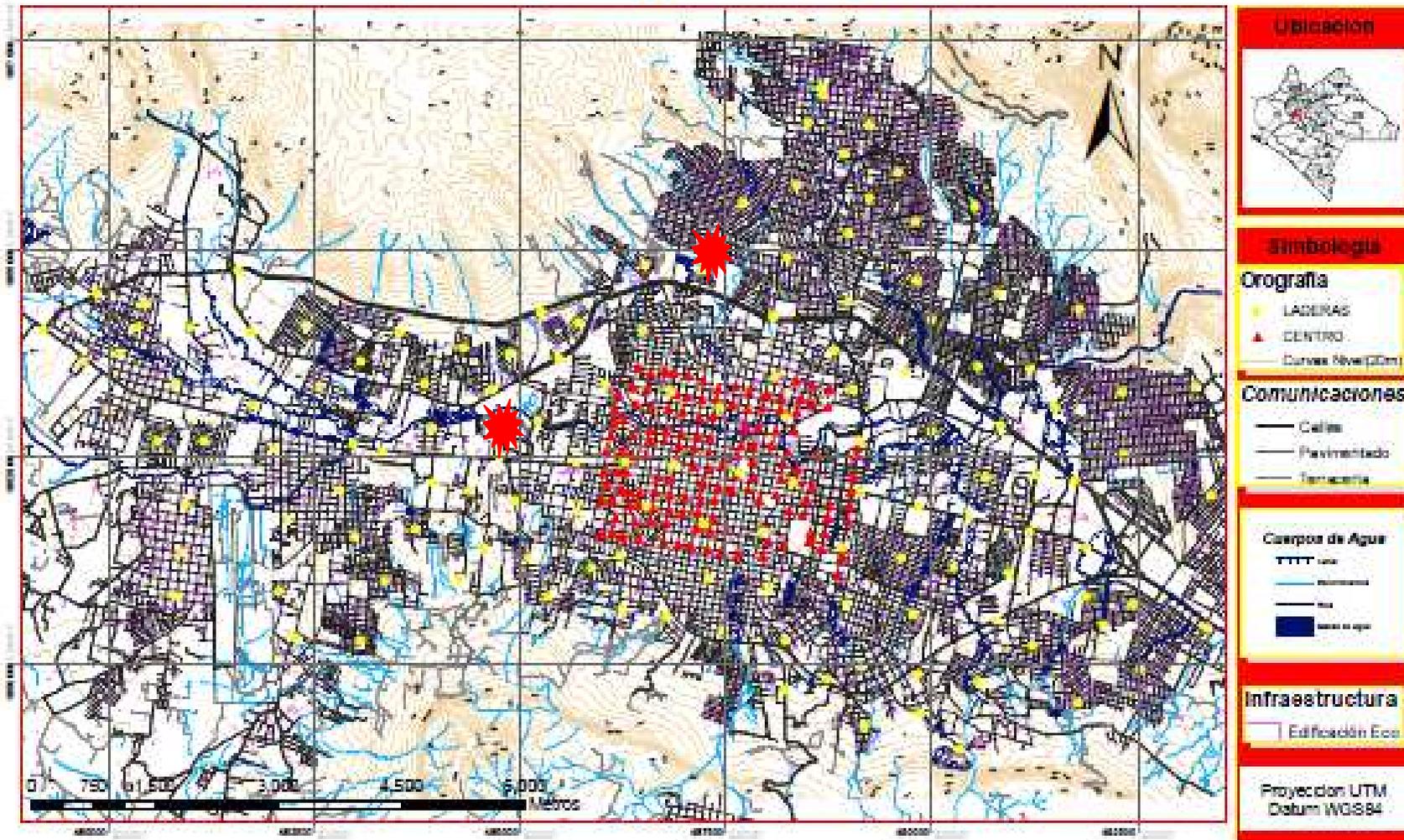


Figura 4.1.- Mapa de registros de microtemores de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez Chiapas, los puntos color amarillo y rojo indican la posición de los registros en la ciudad, los puntos en rojo de mayor tamaño indican la posición de estaciones acelerográficas.

4.2. EQUIPOS DE MEDICIÓN, CONFIGURACIÓN Y REGISTROS

En la figura 4.2 se muestra de forma esquemática el espectro sísmico en función del período y la frecuencia, señalando tanto las fuentes como los instrumentos de medición recomendados para cada intervalo. La vibración ambiental se sitúa aproximadamente en el rango comprendido entre 0,1 Hz y 10 Hz (Roca, 1996).

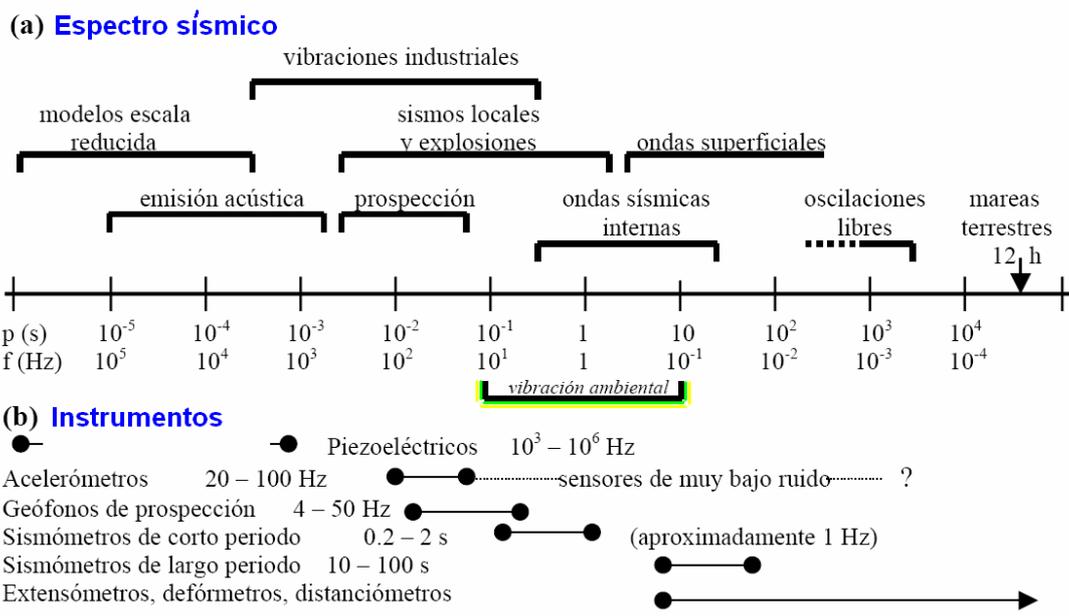


Figura 4.2.- (a) Espectro sísmico. (b) Instrumentos. (Modificado de: Roca, 1996)

Para la adquisición de datos de microtremores, se requiere de un sensor capaz de registrar las tres componentes ortogonales del movimiento (N-S, E-O, vertical), conectado éste a una unidad de digitalización con al menos tres canales de grabación.

Los registros se recopilan con dos acelerógrafos de la manufactura Kinematics, que constan con una grabadora modelo Makalu de seis canales de 24 bits con sistema electrónico. Estos Instrumentos cuentan con una tarjeta PCMCIA de 64 MB y batería interna. A estos equipos se les conecta un sensor triaxial externo marca EpiSensor modelo FBA ES-T y una antena GPS. (Figura 4.3).

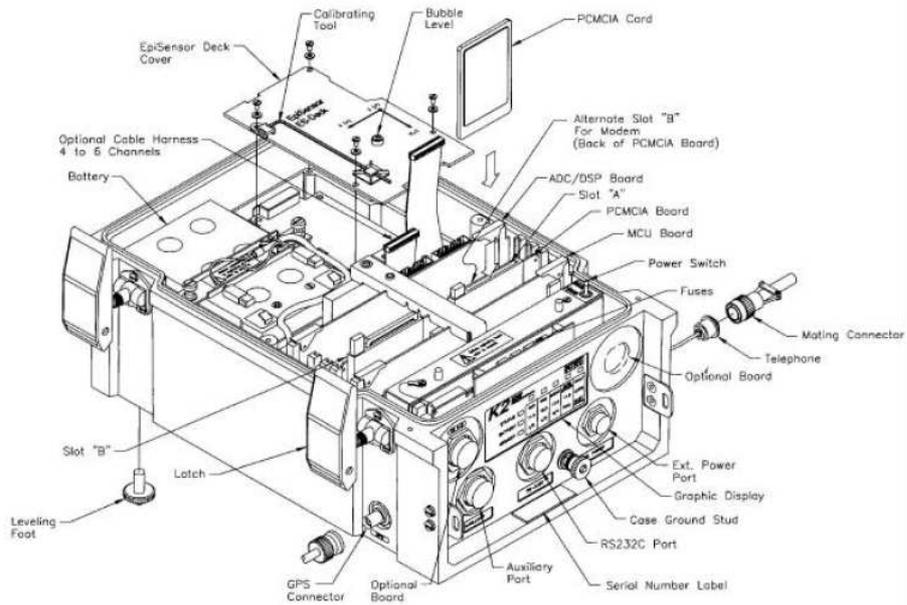


Figura 4.3. Esquema de los componentes del la grabadora modelo Makalu.

El sensor utilizado cuenta con tres componentes de medición, dos horizontales y uno vertical ortogonales entre sí, con un rango de escala de $\frac{1}{4}$ de gal (cm/s^2), un nivel de burbuja, (Figura 4.4). La Tabla 4.1 se presenta las características técnicas del sensor.

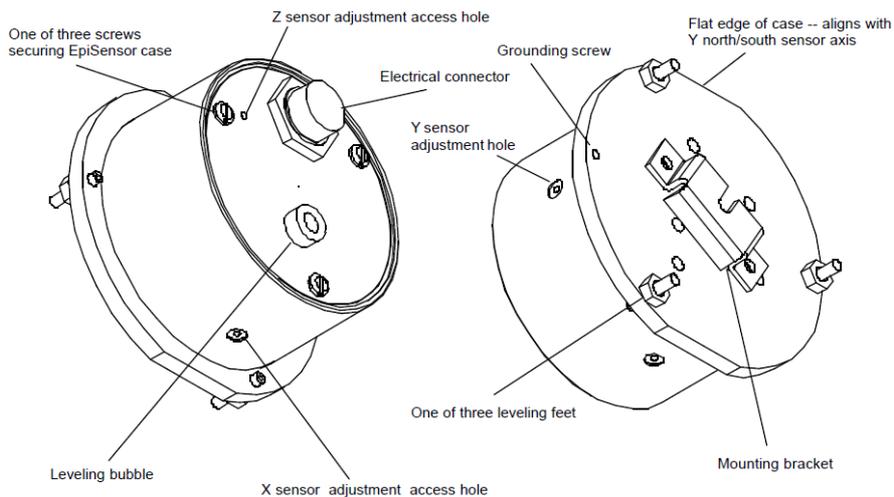


Figura 4.4. Esquema de los componentes del Sensor marca EpiSensor

Tabla 4.1.- Especificaciones técnicas del sensor utilizado.

Especificaciones Técnicas del EpiSensor ES-T	
Rango dinámico	155 Db
Ancho de Banda	Hasta 200 Hz
Rango de escala completa	Seleccionada por el usuario: ± 0.25 g, ± 0.50 g, ± 1 g, ± 2 g y ± 4 g
Salidas	Seleccionada por el usuario: ± 2.5 V y ± 10 V (terminal única) ± 5 V y ± 10 V (diferencial)
Ajuste de ceros	Manual
Linealidad	$< 1000 \mu\text{g}/\text{g}^2$
Histéresis	< 0.1 % de la escala completa
Consumo de energía	12 mA desde ± 12 V (amperaje estándar) 35 mA desde ± 12 V (amperaje de bajo ruido)
Tamaño	13.3 cm de diámetro, 6.2 cm de alto
Temperatura de operación	Desde -20° hasta 70° C (de 0° a 160° F)
Peso	Aproximadamente 1.8 kg (4 lbs.)

La configuración de los equipos de medición se realizó por medio del software Altus File Assistant V2.2 de Kinematics y el software Quick Talk, (www.kmi.com / Down load), a través de esta interface se introdujeron los parámetros del sensor como los tiempos de pre evento y pos evento de registro.

Se recomienda que la duración de grabación sea de 30 min para un mínimo de frecuencia (f_0) esperado de 0,2 Hz, tal como se presenta en la tabla 4 (Bard et al, 2004).

Tabla 4. Duración de registros para una frecuencia esperada (Bard et al, 2004).

Frecuencia mínima esperada f_0 (Hz)	Mínima duración de registro recomendada (min)
0,2	30'
0,5	20'
1	10'
2	5'
5	3'
10	2'

Los registros en cada punto se tomaron con una longitud de 30 minutos a una velocidad muestreo de 100 (1/s), la descarga de los registros fue con ayuda del software Quick Talk.

4.3. CONDICIONES Y METODOLOGÍA PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS

Es importante comprender de antemano que los parámetros de adquisición influyen en la calidad y fiabilidad de los datos. Las mediciones de microtemores en una ciudad deben ser conducidas bajo el siguiente contexto:

1. El ruido antropogénico es muy alto.
2. La mayor parte del terreno está cubierto por aceras y pavimento, razón por la cual la ubicación del sensor se realiza principalmente sobre estas superficies.
3. La adquisición se desarrolla en un ambiente dominado por edificaciones de dimensiones variables.
4. El registro no siempre se efectúa a la misma hora del día ni bajo las mismas condiciones climáticas.
5. La presencia de estructuras subterráneas, por ejemplo tuberías, es en algunos casos desconocida.

Algunos parámetros que intervienen en la correcta adquisición de los datos de ruido ambiental (Bard, 2004) son:

1. Acoplamiento del sensor

Concreto y asfalto aportan buenos resultados. La mayoría de las mediciones se efectuaron colocando el sensor directamente sobre pavimento.

2. Ambiente

Factores como el viento y la elevada temperatura pueden afectar el resultado de las mediciones realizadas. La brisa es probablemente la influencia más frecuente en registros de ruido ambiental, introduciendo alteraciones en rangos de frecuencia baja ($\ll 1$ Hz) que no está relacionado con los efectos de sitio.

3. Estructuras cercanas

Se debe evitar el registro cerca de estructuras tales como edificaciones, árboles, etc., en especial, aquellas que pueden interactuar con el viento. El movimiento de las estructuras debido a la acción del viento puede repercutir en los datos adquiridos, introduciendo un alto contenido de bajas frecuencias en las curvas H/V. No es posible cuantificar con exactitud la distancia mínima que debe de existir entre estas estructuras y el equipo de medición para que el efecto sea el menor posible, ya que depende de diversos factores externos tales como el tipo de estructura, velocidad del viento, tipo de suelo etc.

4. Disturbios

Se deben de evitar mediciones cercanas a ruido monocromático: maquinaria industrial, generadores, construcciones, etc. Igual que pasa para el caso de estructuras cercanas, no es posible estimar con exactitud, cual debe de ser la distancia mínima entre el equipo de medición y las fuentes locales de ruido (transeúntes, automóviles, etc.).

Los pasos llevados a cabo para la adquisición de las señales de cada punto de medición de microtemores son los siguientes:

1. Se verificó el buen funcionamiento del equipo de medición, tanto como sensor, grabadora, GPS, tarjeta de almacenamiento y que la batería este cargada, a pesar de que se ocupo la batería del automóvil con un convertidor de energía para cargar la batería en el transcurso de las mediciones.
2. Se ubicó los puntos a medir a partir del mapa elaborado con anterioridad para tener así un mayor control y eficiencia en cuestión de tiempo.
3. Al arribar al lugar de medición, se observa el lugar detalladamente, poniendo principal atención en el flujo vehicular, industrias cercanas, tuberías, estabilidad del suelo y condiciones climáticas (viento y altas temperaturas), posteriormente se prepara el equipo para su instalación.
4. La instalación del sensor se realizó en las partes rígidas del suelo, ya sea una roca o suelo firme, evitando instalarse cerca de los árboles o de algún otro ambiente que genere demasiado ruido a la señal, geo-referenciando la componente “Y” hacia el norte geográfico utilizando una brújula Brunton y se nivela el sensor.
5. Una vez ya conectado el sensor a la grabadora y en funcionamiento, se verifica la calibración de las 3 componentes, esta calibración se realiza observando el registro en tiempo real, verificando la diferencia de potencial, esta diferencia debe de estar en su voltaje pico entre 100 mV ya que el sensor es muy sensible (1/4 g), posteriormente se aguarda unos 5 min aproximadamente para la estabilidad del sensor.
6. Se realizó la programación del equipo, en la cual consiste ingresar el nombre del archivo, tiempo de pre-evento y post-evento, y el tipo de disparo, que en este caso fue por la opción de manual, con el cual también se verifica que el GPS tenga una buena señal.

7. Una vez comenzado el proceso de registro, se evitó transitar por las inmediaciones del sensor, con el fin de garantizar el menor ruido local posible que afecte los registros.

8. Finalizada la medición, se realizó el levantamiento del equipo y se trasladó al siguiente punto de registro cercano.

4.4. PRE PROCESAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE SEÑALES

Los registros obtenidos del acelerógrafo fueron almacenados en formato de Kinematics (extensión EVT), posteriormente utilizando el programa KW2ASC32 de Kinematics se obtuvieron las tres componentes de registro y se guardaron los datos en formato ASCII identificando la componente norte-sur (NS), este-oeste (EO) y vertical (Z) con la extensión del archivo *.001, *.002, *.003, respectivamente.

Mediante un código en lenguaje Matlab, las señales fueron corregidas por línea base y quitar cualquier tendencia de la señal, una vez corregidos por tendencia, se sustrajo la media para bajar la señal, esta sustracción de la media se realizó obteniendo la media de los datos de toda la señal y este valor se sustrae a todos los datos, en la Figura 4.5 se muestra un ejemplo de la corrección por tendencia y sustracción de la media de una señal. Una vez hecho este pre- procesamiento se guardó en un solo archivo con 3 columnas, donde cada columna corresponde a cada componente, esto para facilitar el manejo de estos archivos.

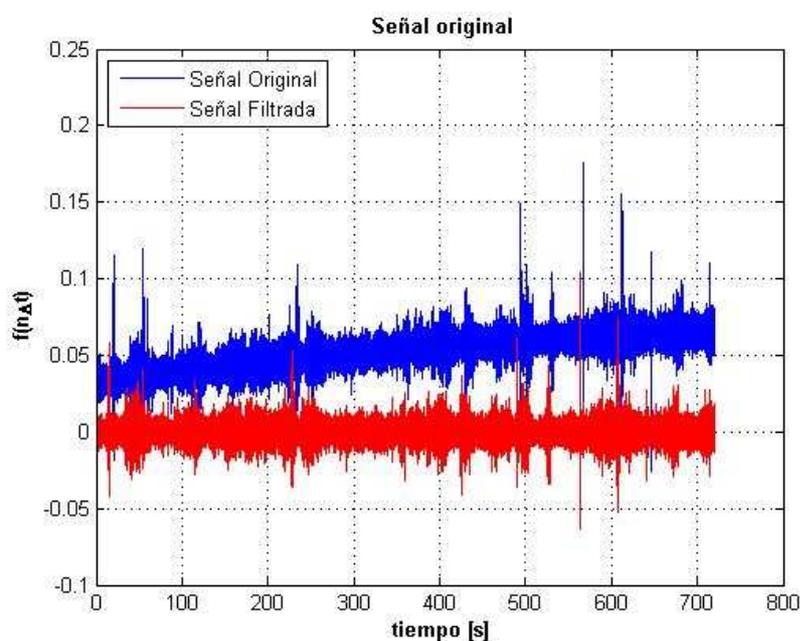


Figura 4.5 Ejemplo de una señal (NS) no corregida (color azul) y la señal corregida por línea base y sustracción de la media (color rojo).

4.5. ESTIMACIÓN DEL COCIENTE ESPECTRAL H/V

En la estimación del cociente espectral H/V se utilizó el software GEOPSY v2.7.1 (www.geopsy.org), este programa está implementado en el lenguaje de programación C++ y está diseñado para realizar el cálculo de cocientes espectrales H/V, además de otro tipo de procesamiento. Una de las ventajas de este programa es que permite la selección de ventanas y tipo de suavizamiento de las señales.

Para la obtención de los cocientes espectrales H/V con el software GEOPSY, fue necesario ingresar los parámetros del tipo de componente y frecuencia de muestreo, en la tabla de información de la herramienta H/V, en la Figura 4.6 se observa la tabla de información del registro a procesar.

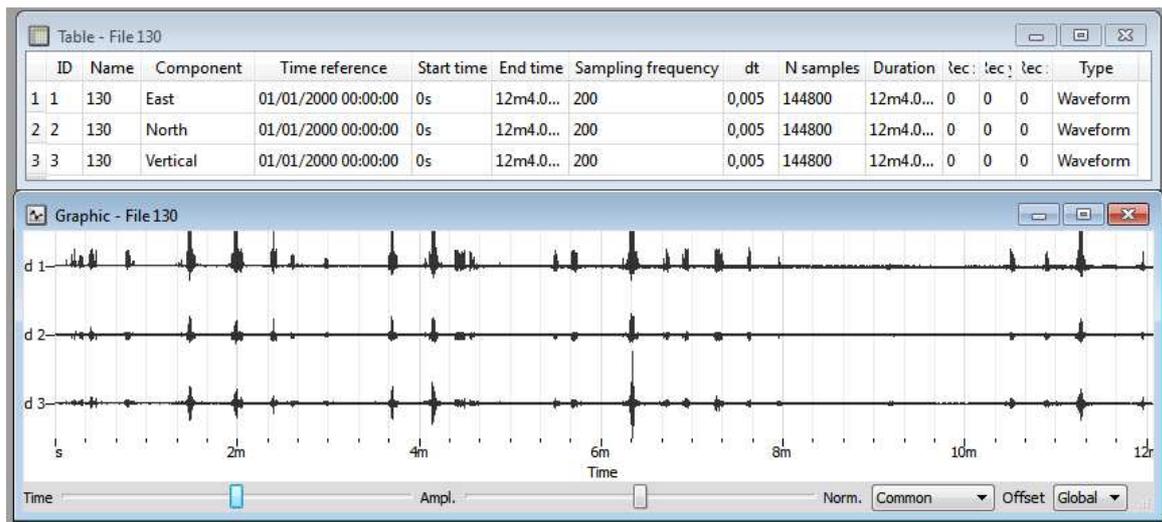


Figura 4.6. Tabla de información mostrando los datos del registro con sus tres señales y su grafica correspondiente

El procesamiento de señales se llevo a cabo mediante cocientes espectrales H/V para varias ventanas de 30 seg en la duración total del registro, traslapando el 15% de duración entre las ventanas algunas ventanas fueron removidas ya que presentaron eventos estacionarios. En la Figura 4.7 se muestra el cuadro de diálogo para introducir los parámetros de procesamiento antes descritos.

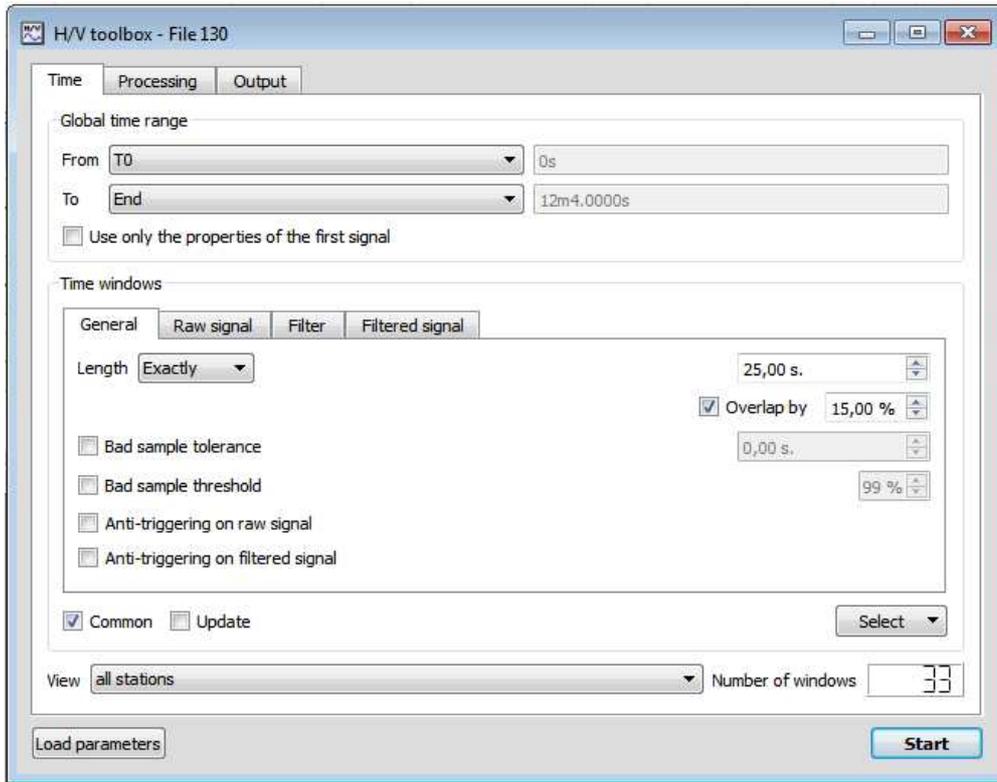


Figura 4.7 .Cuadro de dialogo para la Herramienta H/V

En la Figura 4.8 se observa un ejemplo de la gráfica de H/V para la estación correspondiente al C071 localizándose al norte de la ciudad donde se obtiene el valor de la frecuencia fundamental del suelo y la amplificación relativa promedio asociada al punto de registro. En el eje horizontal muestra el rango de frecuencias (Hz) en escala logarítmica, para el eje vertical muestra la relación H/V, esta es adimensional, las líneas de varios colores corresponden a cada ventana donde se estimo el cociente espectral H/V, la línea continua muestra el promedio de las ventanas procesadas, las líneas discontinuas muestran la máxima y mínima desviación estándar y la barra vertical señala la frecuencia donde se observa el pico máximo de H/V,

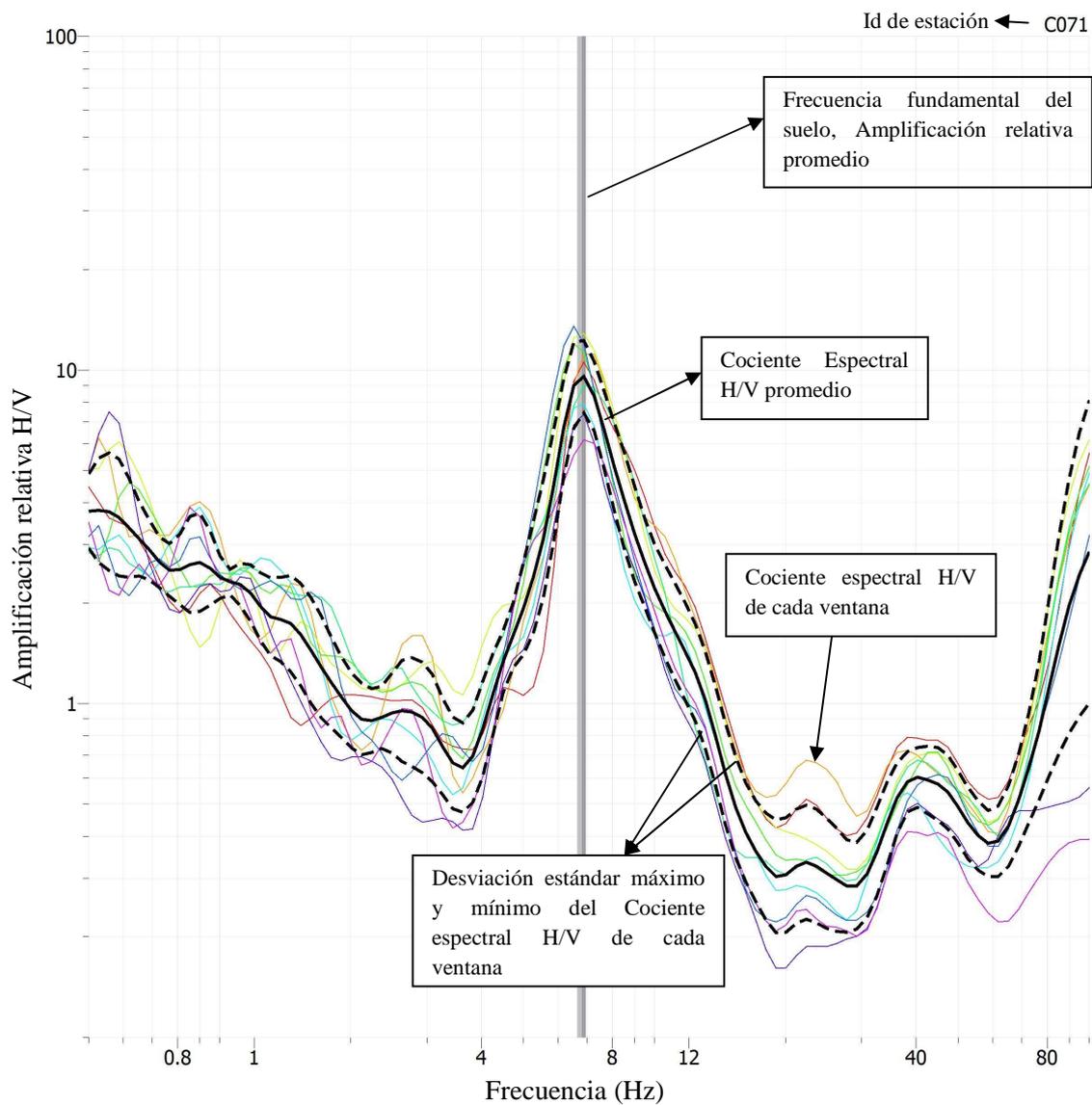


Figura 4.8 Cociente espectral H/V donde se muestra la frecuencia fundamental del suelo de 6.8 Hz con una amplitud relativa promedio de 10 para la estación C071 ubicado al norte de la ciudad.

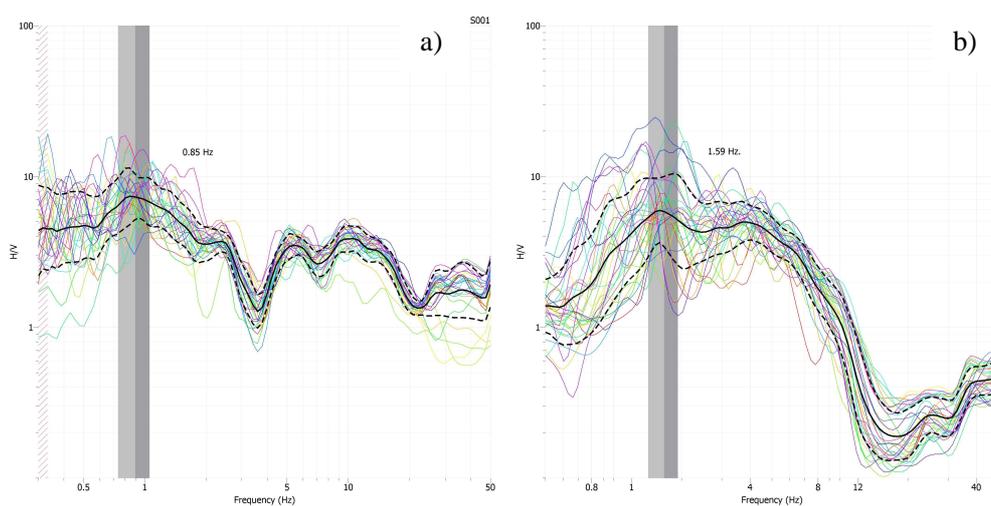
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DE DATOS

Los resultados obtenidos al aplicar la técnica de cocientes espectrales H/V, se pueden clasificar en 3 grupos bajo los criterios:

1. Cocientes espectrales H/V que muestran frecuencias predominantes en un rango de 0.5 a 1 Hz.
2. Cocientes espectrales H/V que muestran frecuencias predominantes en un rango de 1 a 2 Hz.
3. Cocientes espectrales H/V que muestran frecuencias predominantes en un rango de 2 a 50 Hz.

La figura 5.1 presenta una gráfica para cada uno de los 3 grupos de cociente espectral H/V. en el apartado de Anexo se muestran las gráficas de cocientes espectrales H/V.



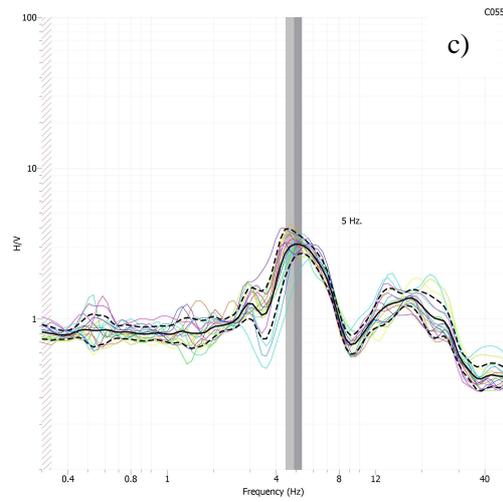


Figura 5.1.- Cociente espectral H/V para tres sitios representativos, a).- cociente espectral H/V para la estación S001 presentado un máximo de 8 en amplitud relativa asociada a la frecuencia de 0.85 Hz, b).- cociente espectral para la estación A4, presentando un máximo de 7 en amplitud relativa asociada a la frecuencia de 1.59 Hz. c).- cociente espectral para la estación C055, presentando un máximo de 3 en amplitud relativa asociada a la frecuencia de 5 Hz.

El valor de la frecuencia fundamental del suelo como la amplitud relativa asociada una frecuencia determinada de cada cociente espectral H/V, se creó una base de datos en la cual contiene el número de registro, coordenadas geográficas (UTM), frecuencia fundamental y amplitud relativa asociada, presentando esta base de datos en el apartado de Anexo.

En la figura 5.2 se muestran los cocientes espectrales H/V que presentaron un pico predominante en frecuencias mayores de 2 con una amplificación relativa mayor de 10, estos cocientes espectrales H/V pertenecen a la zona de la ladera norte de la ciudad, este tipo de comportamiento puede ser debido a que en el lugar se encuentran aflorando calizas cársticas presentando un suelo desarrollado de alta plasticidad con espesores considerables que varían desde 2 m hasta 10 m (caliche) En la Figura 5.3 se muestran las fotografías correspondientes a la ladera norte de la ciudad, donde se observa que la caliza presenta un suelo desarrollado, esto puede estar afectando la amplificación del movimiento por lo que hay un efecto de sitio debido la alteración de las calizas.

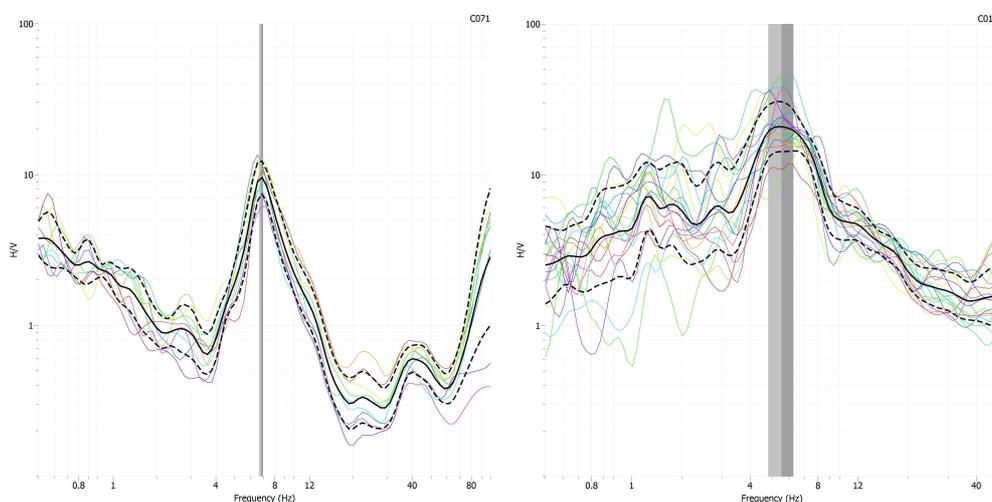


Figura 5.2.-Cocientes espectrales H/V. a).- cociente espectral H/V para la estación C071 localizado en la zona norte de la ciudad, presentado una amplificación relativa de 10 asociada a la frecuencia de 6.8 Hz, b).-cociente espectral para la estación C014 localizado en la zona Noreste de la ciudad, presentando una amplitud relativa de 12 asociada a la frecuencia de 5.5 Hz.



Figura 5.3. a).- afloramiento de la caliza en el libramiento norte de la ciudad mostrando un suelo desarrollado de espesor aproximadamente de 2 m. b).- vista de cerca el suelo desarrollado mostrando fragmentos de roca de tamaño que van desde arenas finas hasta gravas presentando alta plasticidad.

5.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS Y ELABORACIÓN DEL MAPA.

En esta sección se presenta un análisis estadístico de los datos experimentales (*Inferencia Estadística*). El objetivo de este análisis es asegurar que cada observación en la población de datos de período característico del suelo y amplificaciones relativas, tengan una oportunidad igual e independiente de ser incluida en la muestra. El proceso de muestreo que se realizó conduce a una muestra aleatoria, por lo que se tienen la necesidad de utilizar parámetros estadísticos (media, moda, mediana, desviación estándar y varianza) Estos estadísticos se utilizan con el propósito principal de hacer inferencia sobre la naturaleza y el comportamiento de los datos (comportamiento espacial del periodo característico y amplificación relativa del suelo de la ciudad) así como también la realización del mapa en la cual se obtuvo la muestra. (Canavos, 1988).

La Tabla 5.1 tiene los parámetros estadísticos de los datos de periodo característico y de amplificaciones relativas obtenidas a partir de la base de datos. Los parámetros estadísticos más utilizados para caracterizar la población (Canavos, 1988) son los siguientes:

1. Media Aritmética.- Se define la media aritmética como la suma de todos los datos dividida por el número de datos, es la cantidad total de la variable distribuida a partes iguales entre cada observación.
2. Mediana.- se define la mediana como el valor de la variable que está en el centro, el conjunto de datos menores o iguales que la mediana representarán el 50% de los datos, y los que sean mayores que la mediana representarán el otro 50% del total de datos de la muestra.
3. Moda.- Se define la moda como el valor de la variable que más se repite, es el decir, aquél que tiene mayor frecuencia absoluta.

4. Varianza.- Se define la varianza como la media aritmética de los cuadrados de las desviaciones respecto de la media, es una medida de su dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media.
5. Desviación estándar.- Se define la desviación estándar como la raíz cuadrada positiva de la varianza, es una medida (cuadrática) que informa de la media de distancias que tienen los datos respecto de su media aritmética, expresada en las mismas unidades que la variable.

Tabla 5.1 Parámetros estadísticos de los datos de periodo característico y amplitud relativa

Parámetros Estadísticos	Periodo (seg)	Amplitud (H/V)
Media	0.376319356	7.981901408
Mediana	0.27027027	6.2
Moda	0.357142857	3
Desviación estándar	0.256391043	5.622927124
Varianza de la muestra	0.065736367	31.61730945

Los valores de los parámetros estadísticos con respecto al periodo característico del suelo indican que los datos tienen en su mayoría valores de $0.37s \pm 0.25s$ por lo que se infiere que la ciudad tiene este comportamiento en general. Sin embargo, con respecto a la amplitud relativa se tienen valores de 7.98 ± 5.6 , por lo que la mayoría de los datos presentan amplificaciones mayores a 5, infiriendo que existe una gran proporción de la ciudad que presenta estos valores.

La distribución de los datos de periodo fundamental tiene un comportamiento bimodal, la moda se presenta en los intervalos comprendidos de 0.20-0.40 y de 0.70-0.90s (ver gráfica 5.4 a), encontrándose una mayor proporción de datos en un intervalo de 0.12-0.40s., esto indica que aproximadamente el 80% de los datos muestran valores inferiores de 0.5s

La distribución de los datos de amplificación relativa H/V tuvo un comportamiento trimodal, la moda se presentó en los intervalos comprendidos de amplificación con valores de 2-6, 10-14 y de 16 a 20, encontrándose una mayor proporción de datos en un intervalo de

2 a 6 veces, esta distribución muestra que el 60% de las observaciones presentan valores de amplificación mayores a 5, con lo cual se infiere que el 60% de la ciudad presenta efectos de sitio.

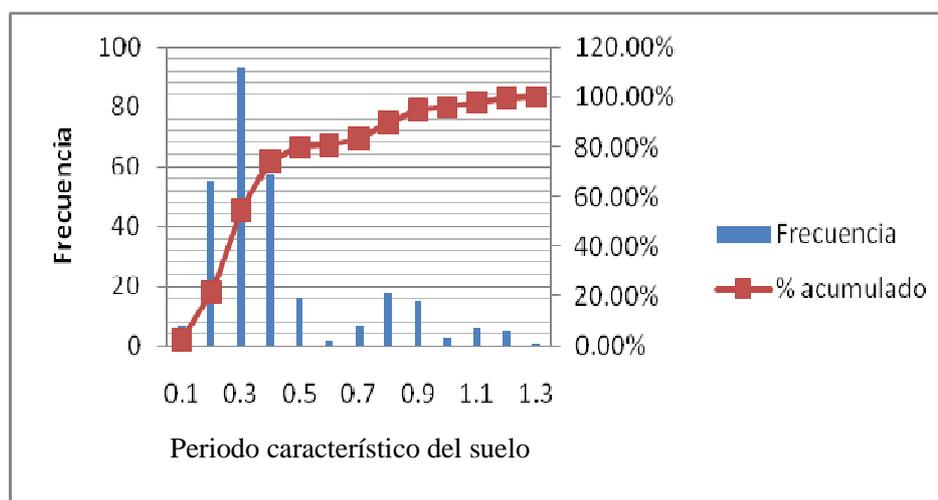


Figura (5.4) Histograma de los datos de Periodo Fundamental del suelo, este muestra que el 75% de las observaciones tienen valores inferiores al 0.5 seg de periodo característico del suelo.

El variograma es el parámetro estadístico útil para la realización de un mapa, muestra la distribución de los datos de periodo característico del suelo y las amplificaciones relativas asociadas, este parámetro indica que tanto varía los datos de periodo característico y de amplificaciones relativas conforme a la distancia en que se encuentran dichos datos.

El variograma (figura 5.5 a) con respecto al periodo fundamental del suelo presenta un mejor ajuste para una dirección de 90° con respecto al este-oeste con sectores de búsqueda de 50° de tolerancia, estos parámetros tienen varianza de 0.0638, los datos con respecto a la distancia presentan una variación de 0,01 s., el intervalo comprendido de 600 y 1200 m presenta poca variación y un ajuste óptimo. El variograma de amplificación relativa H/V (figura 5.5 b) presenta un ajuste en dirección de 0° con respecto al este-oeste con sectores de búsqueda de 50° de tolerancia presentando un error de variancia de 28.4, sin embargo, los datos presentan poca variación con valores de amplificación de 3 en el intervalo de 400 a 800 mts, siendo este el mejor ajuste.

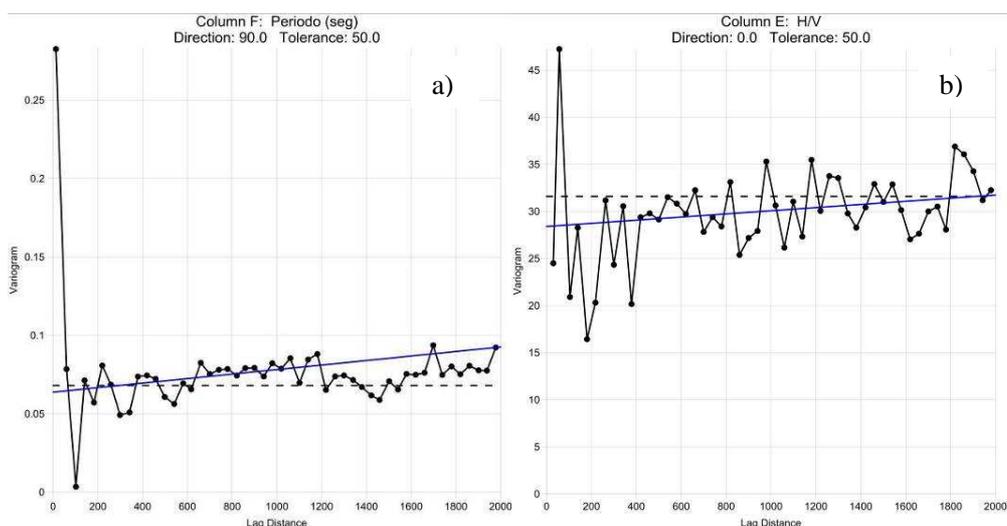


Figura 5.5, Variogramas obtenidos con los 287 datos. a)- variograma de periodo fundamental del suelo. b) variograma de amplificaciones relativas.

El variograma permite elegir los parámetros de interpolación que mejor ajusta a las observaciones con respecto a la distancia en las que se encuentran.

Los parámetros estadísticos tanto los parámetros del variograma se utilizan para la aplicación del método de interpolación Kriging, que permite obtener zonas delimitadas conforme a la distribución de los datos. Considerando dichos parámetros, se eligió un radio de búsqueda de 600 m en el eje “x” y 1200 m en el eje “y” con sectores de búsqueda a 50° de tolerancia con un ángulo de 90° respecto al este-oeste, para los datos de amplificación relativa se utilizó el mismo método de interpolación considerando un radio de búsqueda de 400 m en el eje “x” y 800 m en el eje “y” con sectores de búsqueda a 50° de tolerancia con un ángulo de 0° respecto al este-oeste.

La malla de iso-periodos obtenido con el método de Kriging, muestra zonas agrupadas en 5 regiones. En la figura 5.6 solo se representan valores múltiplos de 0.2 s, observando que la imagen presenta bajo nivel de definición en sus fronteras, por lo que la imagen se filtra empleando una matriz de tipo Gaussiano, con lo cual podemos apreciar los límites entre los valores de periodo característico y mejorar la calidad de imagen.

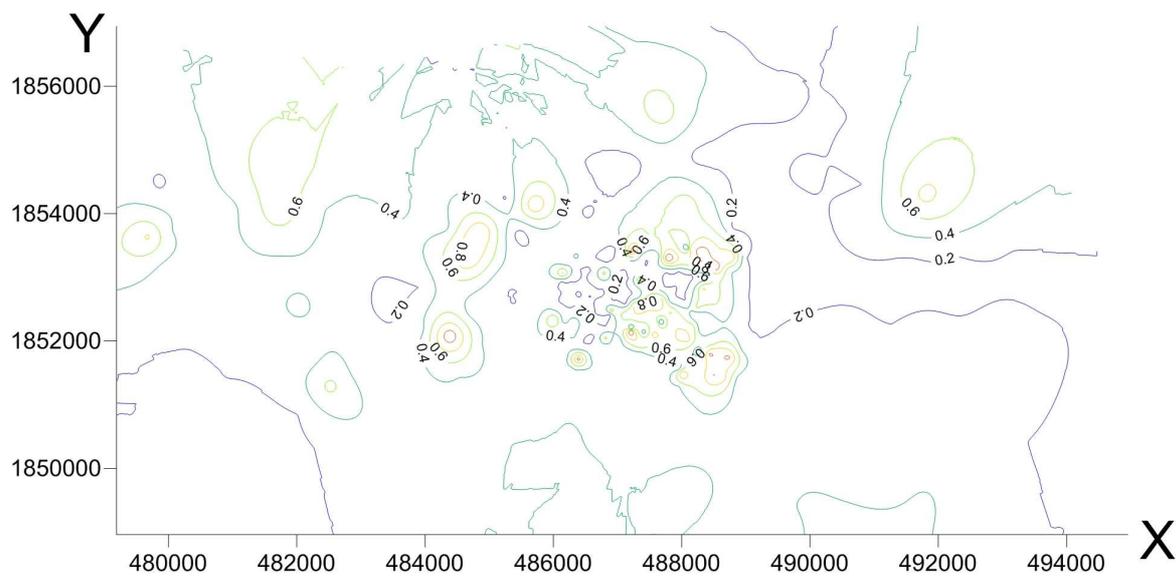


Figura 5.6 Malla de iso-periodos Filtrada con el método de interpolación Kriging.

La malla de iso-amplificaciones se procesó de la misma forma que la malla de iso-periodos. La figura 5.7 muestra las regiones que tienen una misma amplificación con valores múltiplos de 1. También se aplicó un filtrado empleando una matriz de tipo Gaussiano para delimitar mejor las regiones y mejorar la imagen.

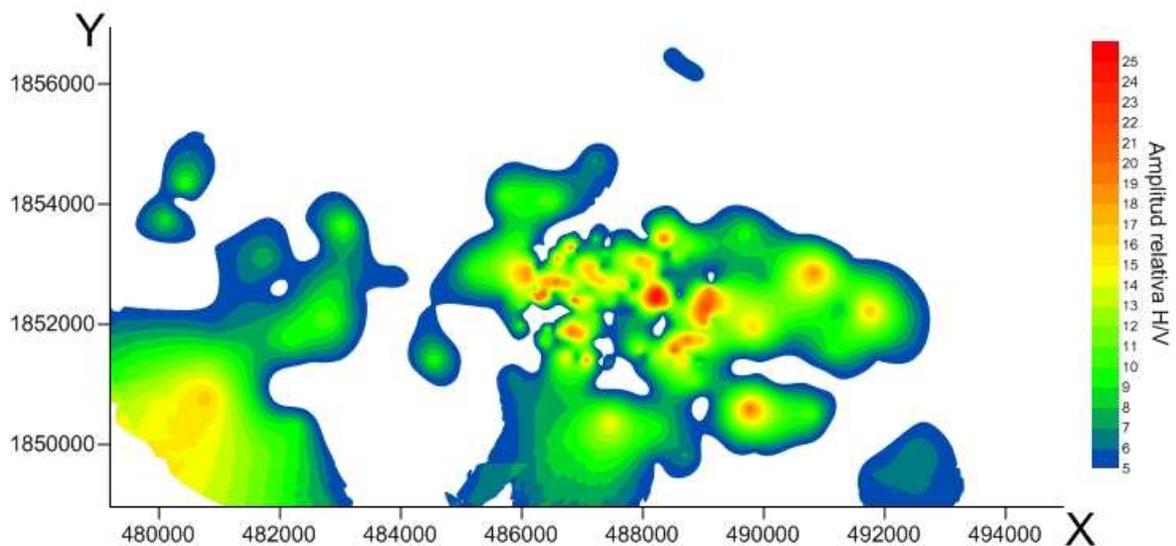


Figura 5.7 Malla de iso-amplificaciones relativas obtenida por el método de Kriging.

El análisis de los datos donde se estimó el periodo fundamental, se presenta un mapa final sobreponiendo las imágenes de iso-periodos y de amplificación relativa, permitiendo observar la distribución espacial de estos efectos. En el mapa final (anexo) podemos observar que existen 4 zonas principales en las cuales se concentra periodos fundamentales superiores a 0.5 s. en estas 5 zonas resaltan 2 que cubren una superficie considerable y de importancia.

La primera zona se encuentra al sur-este de la ciudad extendiéndose hacia al norte, esta zona presenta amplificaciones relativas máximas de 15 con periodos característicos de 0.3 s. afectando principalmente al antiguo aeropuerto de la ciudad.

La segunda zona corresponde al centro de la ciudad que se extiende en dirección tanto al norte, sur y oeste de la ciudad, lo cual se presenta principalmente en el centro amplificaciones relativas que superan el valor de 15 encontrando una correlación en dirección al río Sabinal. La distribución del periodo característico del suelo en el centro tiene valores de 0.5s hasta de 1.25s, encontrando una relación importante con respecto a los daños estructurales reportados durante eventos sísmicos en esta parte de la ciudad.

5.3 ANÁLISIS DE DOS SITIOS CON REGISTRO DE SISMO

En esta sección se presenta el análisis del evento sísmico sucedido el 7 Abril del 2011 con una magnitud 6.7 a 83 km de distancia de las Choapas, Veracruz, a una profundidad 167 km (<http://www.ssn.unam.mx/>). Este movimiento fue captado en dos sitios: Las instalaciones de la UNICACH (parte norte de la ciudad) y en la Facultad de Ingeniería de la UNACH (en el centro de la Ciudad). En la figura 4.1 se muestra el lugar de estas dos estaciones acelerográficas. La figura 5.8 muestra los acelerogramas de dichos lugares, que al estar a la misma escala muestran claramente que existe una amplificación del movimiento en la estación acelerográfica de la UNACH con respecto a la UNICACH.

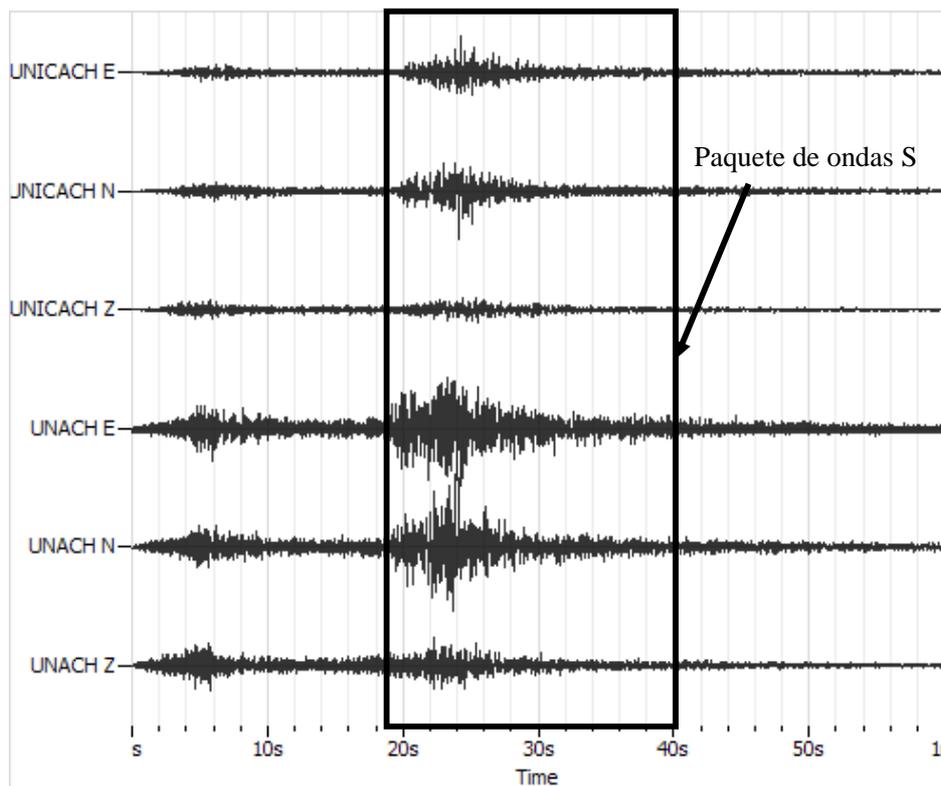


Figura 5.8 –Acelerogramas del sismo del 7 de abril de 2011 se encuentran en la misma escala, los 3 primeros registros corresponden al sitio de la UNICACH y las 3 siguientes corresponden al sitio de la UNACH,

La tabla 6 muestra las aceleraciones máximas en cada dirección de los acelerogramas, en la cual se resume que la aceleración máxima presentada en la estación de la UNICACH es de 48 gal. en dirección N-S y para la estación UNACH en la misma dirección N-S tiene una aceleración máxima registrada de 115 gal. Al realizar un comparativo entre estas aceleraciones, indica que para la estación de la UNACH la aceleración es aproximadamente 2.4 veces con respecto a la UNICACH.

Tabla 6- Datos a partir del análisis de los acelerogramas del evento sísmico registrado el 7 de abril de 2011.

Lugar	Dirección	Aceleración Máxima (gal)
	E-O	38
UNICACH	N-S	48
	V	13
	E-O	102
UNACH	N-S	115
	V	55

Los acelerogramas obtenidos en los 2 diferentes puntos del evento sísmico, se realizó el cociente espectral H/V, el cociente espectral H/V de la UNICACH se observa un pico predominante en las frecuencias de 8.5 Hz con una amplitud relativa de 4, para la relación H/V de la UNACH el pico predominante lo observamos en la frecuencia de 3.5 Hz con una amplificación relativa de 8, en la Figura 5.9 se muestra las 2 curvas de cocientes espectrales H/V de dichos lugares, este procesamiento fue similar al procesamiento de los microtemores, con la variante de que en estos cocientes espectrales H/V solo se analizó paquete de ondas S como se muestra en la figura 5.8.

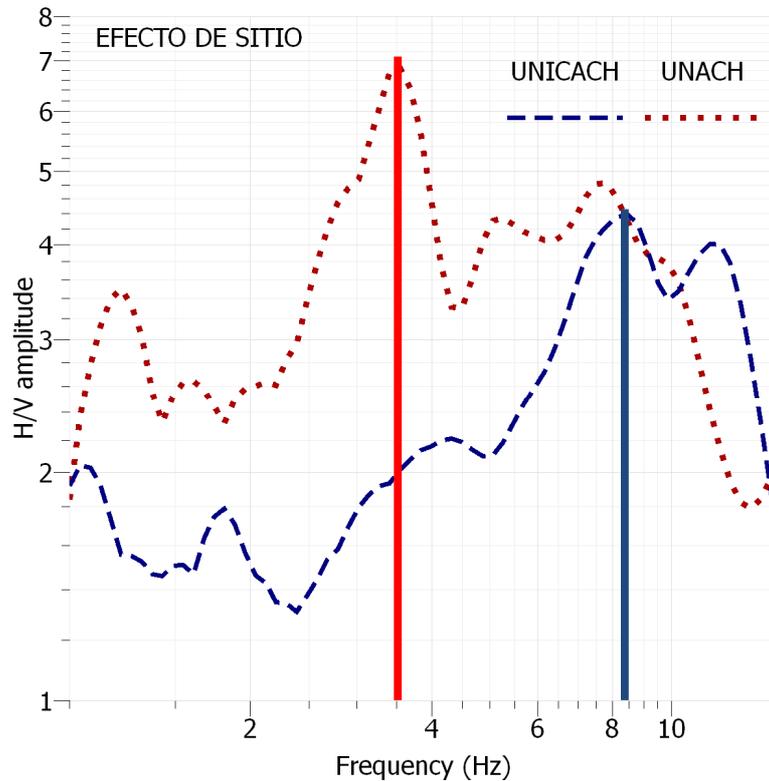


Figura 5.9.- Grafica de Cocientes espectrales H/V en 2 sitios de la ciudad a partir del evento sísmico del 7 de Abril de 2011 la línea color azul corresponde al sitio de la UNICACH, la línea roja muestra el cociente espectral para el sitio de la UNACH.

Comparando los cocientes espectrales H/V del sismo con respecto a los cocientes espectrales H/V obtenidos de registro de microtremores, se observa en la figura 5.10 que no varían el comportamiento de los cocientes espectrales H/V e indican aproximadamente el periodo fundamental de vibración del suelo, con respecto a las amplificaciones, los microtremores presentan menor amplificación relativa que las obtenidas con movimientos fuertes.

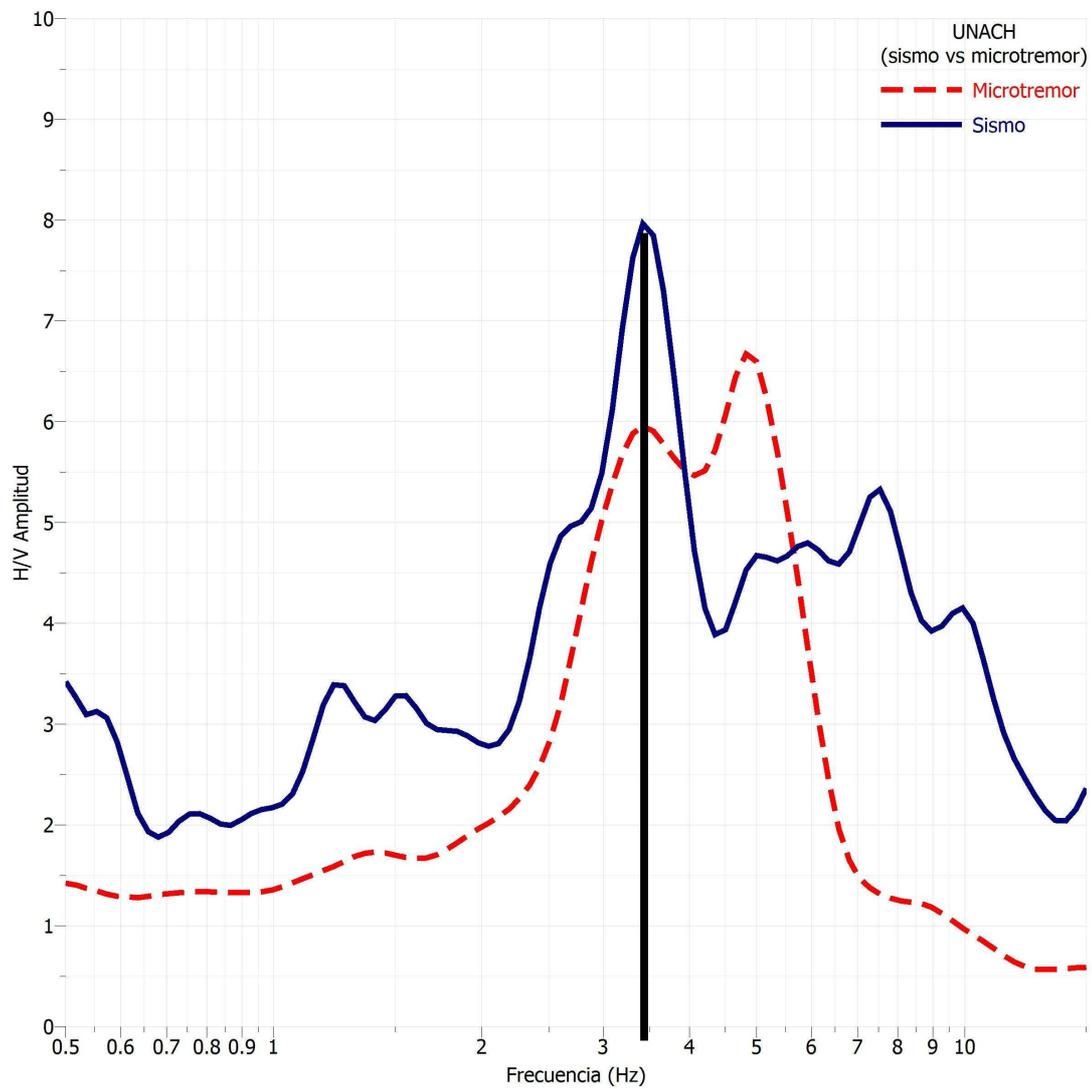


Figura 5.10.- Gráfica de cocientes espectrales H/V de microtremores (línea discontinua) vs sismo (línea continúa).

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se ha realizado un estudio de efecto de sitio en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, con el objetivo de elaborar un mapa de microzonificación sísmica para esta ciudad. Se realizaron 350 mediciones de vibración ambiental mediante dos equipos conformados por un acelerómetro triaxial de manufactura Kinometrics modelo EpiSensor conectado a una grabadora modelo Makalu. Los registros en cada punto se tomaron con una longitud de 30 minutos a una velocidad de 100 muestras por segundo.

Mediante el uso de cocientes espectrales H/V se encontró que existen 3 zonas en el área de estudio que pueden clasificarse como:

- a) Zona 1 (Cocientes espectrales H/V que muestran frecuencias dominantes en un rango de 0.5 a 1 Hz).
- b) Zona 2 (Cocientes espectrales H/V que muestran frecuencias dominantes en un rango de 1 a 2 Hz).
- c) Zona 3 (Cocientes espectrales H/V que muestran frecuencias dominantes en un rango de 2 a 50 Hz).

El análisis de cocientes espectrales H/V del evento sísmico ocurrido el 7 de abril de 2011 permitió validar los cocientes espectrales H/V obtenidos por microtemores, esto indica que al menos en este sitio las amplitudes y las frecuencias están razonablemente estimadas.

Se realizó un análisis estadístico de los datos de amplificación relativa y periodo dominantes, el cual permitió describir y mapear la distribución de periodos dominantes en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Las muestras obtenidas son representativas y presentan una distribución espacial no uniforme, la cual el 70% de los datos de periodo característico corresponden a la zona 1, el 25% de los datos de periodo dominante corresponden a la zona

2 y el 5% restante corresponden a la zona 3. Con ayuda de los parámetros estadísticos y el variograma, se realizó una interpolación de los datos utilizando el método de Kriging para la elaboración del mapa de distribución espacial de periodos dominantes.

El mapa de iso-periodos dominantes característicos del suelo así como de iso-amplificaciones relativas, se integró a un Sistema de Información Geográfica (SIG). Este mapa muestra la distribución espacial de periodos dominantes en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, presentando valores máximos en un rango de 5 a 25 de amplificaciones relativas y de periodos dominantes en un rango de 0,1 a 1,25 s. Estos valores se observan a lo largo del río Sabinal que tiene una dirección de este-oeste cruzando el centro y noreste de la ciudad.

La base de datos de daños estructurales obtenidos por reportes del Sistema Estatal de Protección Civil del Estado de Chiapas y recolectados en campañas de registros de daños, se localizaron en el mapa con el fin de correlacionar los daños estructurales con los periodos característicos del suelo y las amplificaciones relativas, se observa que la mayoría de estos daños se encuentran en la parte donde las amplificaciones tienen valores en un rango de 5 a 25 y valores de periodos dominantes comprendidos en un rango de 0,5 y 1,25 s.

Con relación a los mapas de microzonificación que se realizaron en los años 1994 y 2006, el mapa obtenido en este trabajo establece con mayor precisión la distribución espacial de periodos dominantes. A fin de enriquecer este mapa, pueden ser incluidos riesgos de otra naturaleza como los de aspectos de topografía, deslaves, inundaciones, efectos inducidos etc.

Los valores de periodo característico del suelo y de amplificaciones relativas pueden variar dependiendo las características de los sismos, por lo que se recomienda realizar un monitoreo sísmico instalando una red acelerográfica en lugares estratégicos de la ciudad. Se recomienda realizar estudios complementarios para conocer la estructura del subsuelo con el fin de aportar información para los estudios geotécnicos y de obras civiles, aplicando técnicas geofísicas prospectivas.

ANEXO

**Base de datos de cocientes espectrales H/V para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez
Chiapas.**

ID	X	Y	Frecuencia (Hz)	H/V	Periodo (seg)
C001	488761	1853309	0.98	12.00	1.02
C002	487408	1853319	4.50	3.00	0.22
C003	488548	1853337	1.25	11.00	0.80
C004	487622	1853333	3.80	9.00	0.26
C005	488347	1853409	0.92	20.00	1.09
C006	487224	1853420	0.90	9.00	1.11
C007	488128	1853462	1.12	11.00	0.89
C008	487038	1853467	4.20	3.00	0.24
C009	488740	1853104	2.35	8.00	0.43
C010	486864	1853500	4.90	6.00	0.20
C011	488542	1853144	0.90	13.50	1.11
C012	486748	1853533	3.70	3.50	0.27
C013	488407	1853178	0.88	5.00	1.14
C015	488173	1853230	1.20	9.10	0.83
C016	486551	1853315	4.90	4.00	0.20
C017	487992	1853260	1.33	8.00	0.75
C018	486592	1853497	3.50	3.50	0.29
C019	487787	1853298	0.80	9.00	1.25
C020	486416	1853572	4.90	5.00	0.20
C021	487679	1852641	1.12	17.00	0.89
C022	486893	1853243	4.30	5.00	0.23
C024	487025	1853224	4.30	7.00	0.23
C026	487200	1853201	4.30	8.00	0.23
C028	487384	1853182	4.60	10.00	0.22
C030	487338	1852964	1.40	6.00	0.71
C031	487630	1852494	1.20	8.00	0.83

ANEXO

ID	X	Y	Frecuencia (Hz)	H/V	Periodo (seg)
C032	487171	1852983	5.00	17.00	0.20
C034	486976	1853029	5.10	15.00	0.20
C035	487282	1852544	1.12	12.50	0.89
C036	486792	1853064	1.50	7.00	0.67
C038	486583	1853102	5.10	18.00	0.20
C040	486412	1853127	5.00	3.00	0.20
C043	488366	1852357	5.10	20.00	0.20
C044	487575	1853131	3.30	12.00	0.30
C046	487724	1852840	4.80	12.00	0.21
C048	487760	1853080	5.00	14.00	0.20
C050	487955	1853085	5.50	18.00	0.18
C051	488584	1852493	1.77	4.00	0.56
C052	487896	1852840	4.50	11.00	0.22
C054	488102	1852821	4.70	16.00	0.21
C056	488154	1853054	4.70	16.00	0.21
C058	488341	1852825	1.20	5.00	0.83
C059	487839	1852642	4.00	6.00	0.25
C060	488366	1853028	5.30	8.00	0.19
C061	487571	1852103	1.14	6.30	0.88
C062	486228	1852563	5.80	10.00	0.17
C063	487408	1852138	3.40	1.90	0.29
C064	486259	1852944	4.70	5.00	0.21
C065	487212	1852169	0.75	12.00	1.33
C067	487212	1852177	5.30	7.80	0.19
C068	486382	1852744	4.70	17.00	0.21
C069	486813	1852222	4.90	4.30	0.20
C070	486103	1852766	4.70	18.00	0.21
C071	486682	1852242	4.70	2.30	0.21
C072	486128	1852921	6.50	18.00	0.15
C074	486748	1852694	5.00	18.00	0.20
C075	486286	1852301	1.70	5.70	0.59

ANEXO

ID	X	Y	Frecuencia (Hz)	H/V	Periodo (seg)
C076	486764	1852816	5.10	11.00	0.20
C077	486188	1852332	4.20	2.50	0.24
C078	486569	1852707	4.90	20.00	0.20
C079	486011	1852327	1.20	11.50	0.83
C080	486582	1852810	6.50	14.00	0.15
C081	488502	1851468	0.98	13.00	1.02
C082	487623	1852280	1.40	5.00	0.71
C084	487454	1852371	1.40	12.00	0.71
C085	488102	1852022	1.17	6.80	0.85
C086	487290	1852354	1.40	9.00	0.71
C087	487913	1851971	1.30	7.30	0.77
C088	487111	1852392	1.40	15.00	0.71
C089	487772	1852090	1.4	7	0.71
C090	486897	1852471	1.40	10.00	0.71
C094	486531	1852507	6.00	6.00	0.17
C095	488166	1852213	1.40	12.70	0.71
C096	486365	1852500	4.30	21.00	0.23
C097	488367	1852181	2.60	6.10	0.38
C098	486215	1852506	4.50	18.00	0.22
C099	488540	1852142	2.50	11.00	0.40
C100	486051	1852567	4.50	14.00	0.22
C101	488520	1851573	1.25	21.00	0.80
C103	488433	1851797	0.96	11.50	1.04
C104	487342	1851772	4.1	5	0.24
C105	488269	1851832	4.10	3.00	0.24
C106	487149	1851808	4.00	11.00	0.25
C108	486970	1851829	3.00	18.00	0.33
C110	486808	1851861	4.70	20.00	0.21
C112	486608	1851885	4.50	15.00	0.22
C114	486433	1851915	4.50	12.00	0.22
C116	486313	1851912	3.50	5.00	0.29

ANEXO

ID	X	Y	Frecuencia (Hz)	H/V	Periodo (seg)
C118	486135	1851991	3.60	4.00	0.28
C120	485978	1851978	3.00	10.00	0.33
C121	487503	1851589	4.6	4.7	0.22
C123	487133	1851624	3.1	9.4	0.32
C124	487354	1851962	1.25	6.00	0.80
C125	486772	1851684	3.5	7.7	0.29
C126	487195	1851983	1.50	11.00	0.67
C127	486390	1851716	0.9	12	1.11
C128	486997	1852014	4.40	12.00	0.23
C130	486813	1852044	1.50	14.00	0.67
C132	486642	1852062	5.10	7.00	0.20
C134	486455	1852072	4.50	3.00	0.22
C135	487633	1851312	3.2	2	0.31
C136	486305	1852080	2.20	3.00	0.45
C137	487275	1851375	3.7	3.7	0.27
C138	486221	1852114	2.20	3.00	0.45
C139	486923	1851453	2.8	5.7	0.36
C140	486050	1852165	2.20	3.00	0.45
C142	487300	1851592	4.3	4.4	0.23
C143	486247	1851544	4	3.6	0.25
C145	486117	1851556	2.9	4	0.34
C146	486585	1851717	2.5	4.3	0.40
C147	485972	1851554	2.9	4.2	0.34
C148	486155	1851737	4.2	3.7	0.24
C150	487945	1851273	2.8	6.3	0.36
C152	487445	1851350	4.4	7.2	0.23
C153	488194	1851453	1.6	12.7	0.63
C154	487069	1851413	3.8	19	0.26
C155	488011	1851477	0.98	5	1.02
C156	486739	1851472	3.3	16.5	0.30
C158	486438	1851497	4	6.6	0.25

ANEXO

ID	X	Y	Frecuencia (Hz)	H/V	Periodo (seg)
C160	488913	1851371	3.3	10.7	0.30
C162	488906	1851282	4.3	8.8	0.23
C164	488860	1851071	3.1	12	0.32
C165	486150	1853062	1.17	11	0.85
C166	489104	1852608	5.7	18	0.18
C167	486191	1853265	5.3	4.4	0.19
C168	489087	1852492	5.3	20	0.19
C169	486351	1853333	2.2	5.2	0.45
C170	489048	1852258	5.1	22	0.20
C171	488667	1851391	1.22	16	0.82
C172	489014	1852052	4.6	20	0.22
C173	488699	1851581	1.2	13	0.83
C174	488991	1851899	4.4	12	0.23
C175	488737	1851744	0.96	20	1.04
C176	488970	1851733	2.1	17	0.48
C177	488764	1851919	1.5	10.7	0.67
C178	488477	1851979	2	6.3	0.50
C186	486949	1852773	4.2	12.9	0.24
C188	487301	1852726	4.80	17.00	0.21
C190	487154	1852760	6.70	16.50	0.15
C192	487114	1852595	6.80	9.10	0.15
A1	486929	1852628	5.10	13.20	0.20
A2	487834	1852263	1.30	5.60	0.77
A3	488056	1852641	5.20	13.50	0.19
A4	488244	1852535	1.55	25.00	0.65
A5	488192	1852404	3.80	25.00	0.26
A6	487828	1852445	1.20	13.00	0.83
C001*	484747.80	1852486.56	4.00	5.40	0.25
C002*	485674.98	1852418.56	4.20	6.00	0.24
C003*	486877.24	1852412.38	6.40	22.00	0.16
C004*	488323.65	1852177.50	4.60	5.00	0.22

ANEXO

ID	X	Y	Frecuencia (Hz)	H/V	Periodo (seg)
C005*	487665.35	1852294.94	6.00	5.60	0.17
C006*	489838.06	1851908.61	2.80	16.00	0.36
C007*	491176.30	1851581.00	3.70	10.00	0.27
C008*	487422.28	1853072.98	4.80	7.00	0.21
C009*	488220.80	1852970.41	4.20	12.70	0.24
C010*	489121.89	1852692.03	6.50	4.00	0.15
C011*	487224.48	1851688.38	4.30	1.00	0.23
C012*	487942.42	1851578.49	4.15	14.00	0.24
C013*	488909.44	1851388.01	4.15	5.70	0.24
C014*	480887.55	1851336.73	5.20	12.00	0.19
C016*	480916.85	1851915.48	4.30	6.30	0.23
C017*	481155.12	1852669.29	3.10	5.60	0.32
C018*	480576.37	1852691.27	4.30	3.00	0.23
C019*	479990.30	1853064.89	3.80	1.70	0.26
C020*	480796.15	1853372.58	3.00	5.00	0.33
C021*	480114.84	1853746.20	2.80	9.20	0.36
C022*	480429.86	1854324.95	3.00	10.50	0.33
C023*	482004.93	1852574.05	2.30	4.00	0.43
C024*	482796.13	1852083.22	2.70	11.00	0.37
C025*	482180.75	1851731.57	3.10	10.00	0.32
C026*	482986.60	1851533.77	3.40	6.00	0.29
C027*	483352.90	1850991.65	2.90	1.80	0.34
C028*	482063.54	1850881.76	4.70	1.00	0.21
C029*	483052.54	1850288.36	2.90	1.00	0.34
C030*	483719.20	1851629.01	4.90	2.60	0.20
C031*	483931.65	1852163.80	3.00	2.30	0.33
C032*	483909.67	1852845.11	5.00	6.00	0.20
C033*	482964.63	1852647.31	4.10	8.50	0.24
C034*	481748.52	1853108.85	3.00	8.00	0.33
C035*	479191.77	1854017.26	2.40	1.50	0.42
C036*	479858.43	1854449.49	5.80	2.50	0.17
C038*	480979.30	1854068.54	2.90	1.50	0.34

ANEXO

ID*	X	Y	Frecuencia (Hz)	H/V	Periodo (seg)
C039*	481565.37	1854749.85	1.40	3.00	0.71
C040*	481726.55	1854002.61	1.40	4.60	0.71
C041*	482517.75	1853328.62	3.00	3.20	0.33
C042*	482378.55	1854090.52	2.40	4.20	0.42
C043*	483052.54	1853650.97	4.70	10.80	0.21
C044*	483528.72	1853995.28	2.30	1.50	0.43
C045*	483836.41	1853372.58	2.80	1.20	0.36
C046*	484312.60	1853790.16	3.00	1.20	0.33
C047*	484876.69	1853731.55	1.00	2.00	1.00
C048*	484649.59	1853291.99	1.00	2.30	1.00
C049*	485213.69	1852918.37	4.50	10.40	0.22
C050*	483308.95	1852537.42	5.80	5.20	0.17
C051*	486830.59	1853280.94	10.00	20.00	0.10
C052*	486032.07	1853368.85	4.70	10.00	0.21
C053*	486486.28	1854035.51	5.60	11.10	0.18
C055*	488097.98	1853464.09	4.90	4.00	0.20
C056*	485702.40	1854130.75	1.00	10.50	1.00
C057*	488815.92	1853786.43	6.20	2.10	0.16
C058*	489035.70	1853302.92	6.00	9.10	0.17
C059*	489687.71	1853537.35	6.50	9.70	0.15
C060*	489995.40	1852797.43	7.10	7.20	0.14
C061*	490662.05	1852255.31	3.80	11.00	0.26
C062*	490940.44	1851075.84	4.70	3.50	0.21
C063*	490251.80	1851156.42	3.20	2.00	0.31
C064*	489629.10	1851288.29	3.10	2.20	0.32
C065*	486544.88	1851903.67	4.20	2.70	0.24
C066*	485687.75	1851852.38	3.50	2.70	0.29
C067*	484933.18	1851954.95	2.80	2.70	0.36
C068*	491878.16	1851412.83	2.80	5.00	0.36
C069*	491746.29	1852218.68	3.60	17.00	0.28
C070*	491270.11	1852262.64	5.00	7.50	0.20
C071*	490837.88	1852870.69	7.00	19.00	0.14

ANEXO

ID	X	Y	Frecuencia (Hz)	H/V	Periodo (seg)
C072*	490464.25	1851771.80	4.10	7.00	0.24
C073*	489138.26	1852094.14	4.80	11.00	0.21
C074*	486266.50	1852423.81	4.22	20.00	0.24
N002	489240.82	1856482.37	6.20	3.00	0.16
N003	488933.14	1856138.05	2.90	5.60	0.34
N004	488500.91	1856533.65	2.80	5.70	0.36
N005	488354.39	1855764.43	2.80	2.60	0.36
N006	488244.50	1854885.32	7.00	4.00	0.14
N007	487702.38	1855559.30	1.40	2.20	0.71
N008	487196.89	1854731.47	10.60	7.20	0.09
N009	488977.09	1854372.50	7.00	4.30	0.14
N010	488977.09	1855171.03	6.70	2.10	0.15
N011	489248.15	1855617.91	4.30	1.00	0.23
N012	489585.14	1855940.25	4.30	1.00	0.23
R001	480347.15	1854057.49	2.73	3.50	0.37
S001	484383.73	1852079.49	0.85	5.50	1.18
S002	484544.90	1851405.50	2.60	10.00	0.38
S003	485101.68	1851273.64	3.00	4.00	0.33
S004	485343.43	1850797.45	2.57	3.60	0.39
S005	485863.57	1851141.77	4.00	6.60	0.25
S006	491775.60	1849537.39	2.40	6.00	0.42
S007	491218.83	1850226.03	4.00	2.50	0.25
S008	490566.82	1849786.47	2.80	2.40	0.36
S010	492088.89	1850464.95	2.89	2.70	0.35
S011	491876.44	1850801.94	2.90	2.80	0.34
S012	492439.40	1850725.29	2.60	4.60	0.38
S013	492532.12	1849918.63	3.30	7.00	0.30
S014	490340.86	1848957.45	2.20	3.00	0.45
S015	488668.84	1856943.63	10.00	1.70	0.10
S016	488671.93	1856854.00	4.85	1.50	0.21
M001	486211.89	1851296.25	3.50	3.90	0.29
M002	487281.19	1851028.92	2.70	3.40	0.37

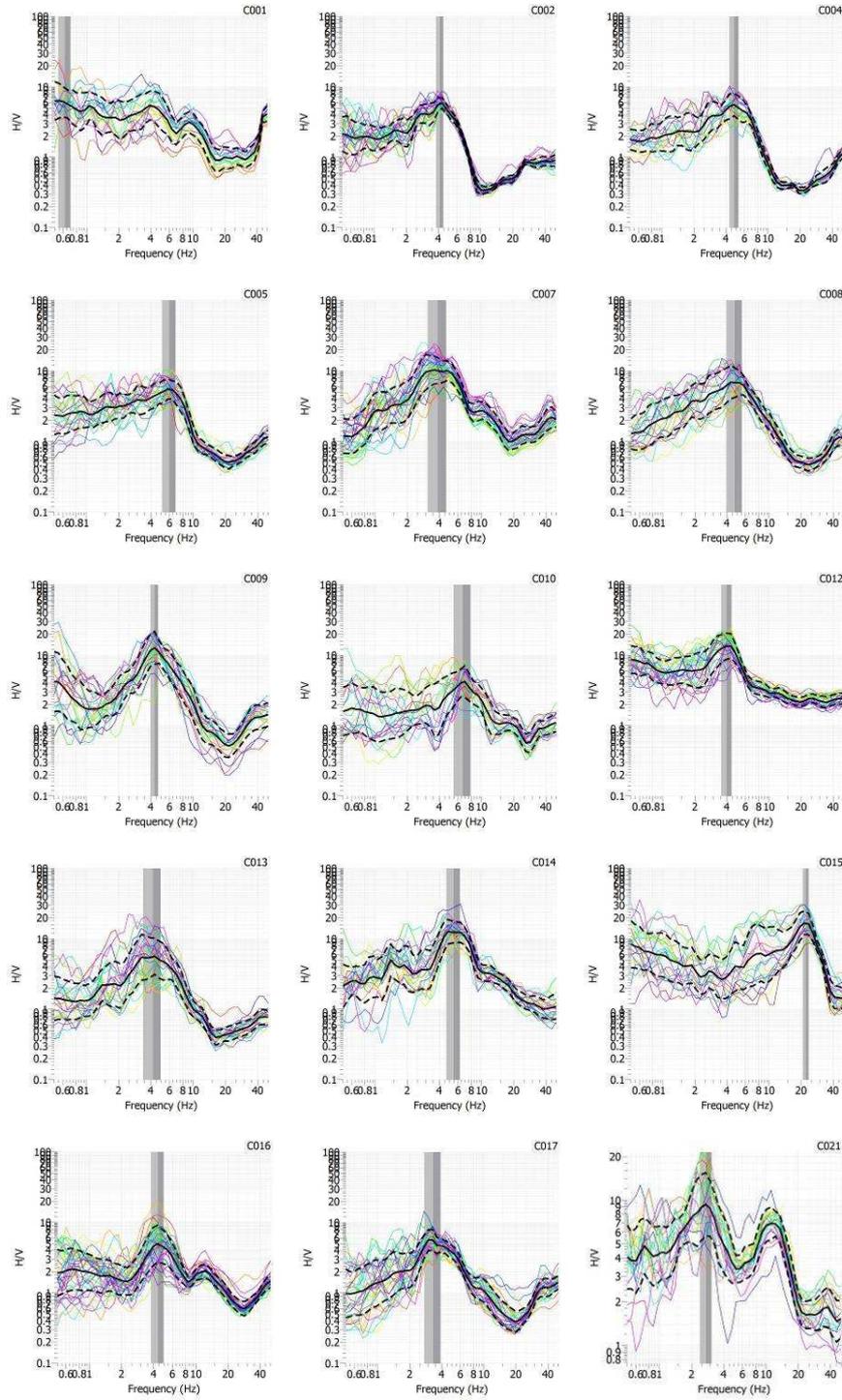
ANEXO

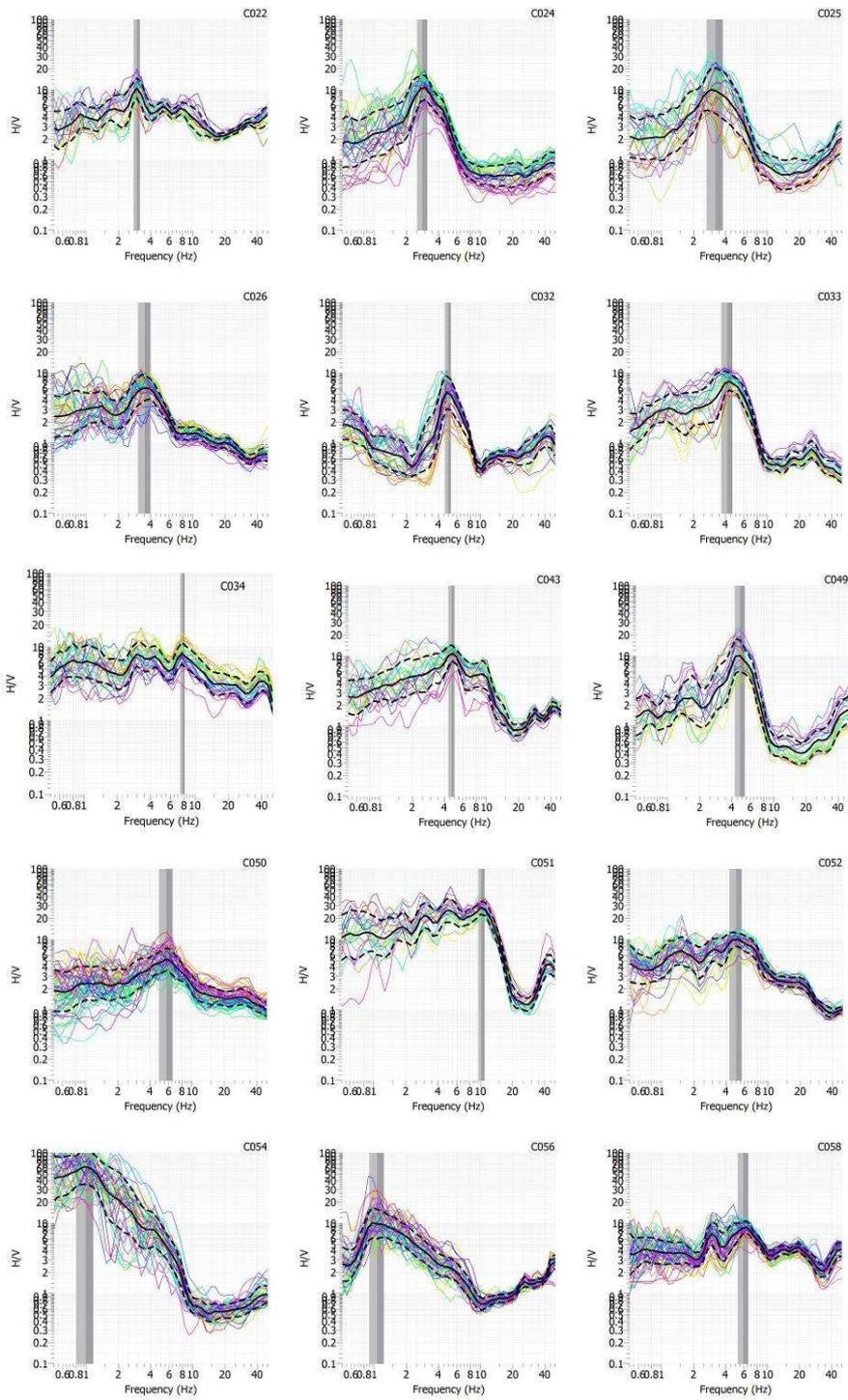
ID	X	Y	Frecuencia (Hz)	H/V	Periodo (seg)
M003	488018.36	1850915.51	3.50	3.60	0.29
M004	488968.31	1850715.69	4.20	3.00	0.24
M005	489770.29	1850591.48	3.30	20.00	0.30
M006	490788.29	1850513.18	3.40	11.00	0.29
M007	486240.92	1850656.97	2.40	7.00	0.42
M008	486778.66	1850560.45	2.80	8.00	0.36
M009	487468.06	1850395.00	3.00	15.00	0.33
M010	488226.41	1850284.69	2.80	9.70	0.36
M011	488226.41	1849678.01	2.10	4.70	0.48
M012	488722.78	1849802.11	2.90	7.20	0.34
M013	482518.13	1851291.22	1.50	4.00	0.67
M014	482256.15	1850312.27	5.10	9.70	0.20
M015	484255.43	1851029.25	3.00	3.00	0.33
M016	489177.79	1849250.58	5.00	3.20	0.20
M017	489150.21	1849967.56	3.10	3.50	0.32
M018	489839.62	1849871.05	2.70	4.90	0.37
M019	489853.41	1849416.04	2.40	3.60	0.42
M020	493341.80	1850436.36	4.90	3.20	0.20
M021	494610.31	1851277.44	13.00	1.00	0.08
M022	494955.01	1850339.84	13.00	1.00	0.08
M025	492335.27	1852532.16	6.00	6.60	0.17
M026	492307.69	1853276.71	5.50	2.60	0.18
M027	493203.92	1853345.65	5.50	2.30	0.18
M028	493686.51	1852614.88	7.00	2.10	0.14
M029	491494.19	1853083.68	13.00	5.00	0.08
M030	491190.86	1853566.26	3.00	1.50	0.33
M031	490570.39	1853593.84	4.60	3.40	0.22
M032	489991.29	1854145.37	5.10	2.30	0.20
M033	485248.17	1854241.88	5.70	2.60	0.18
M034	485468.78	1853676.57	9.50	3.70	0.11
M035	489812.04	1854627.95	4.50	1.50	0.22
M036	489798.26	1855331.14	5.20	4.00	0.19

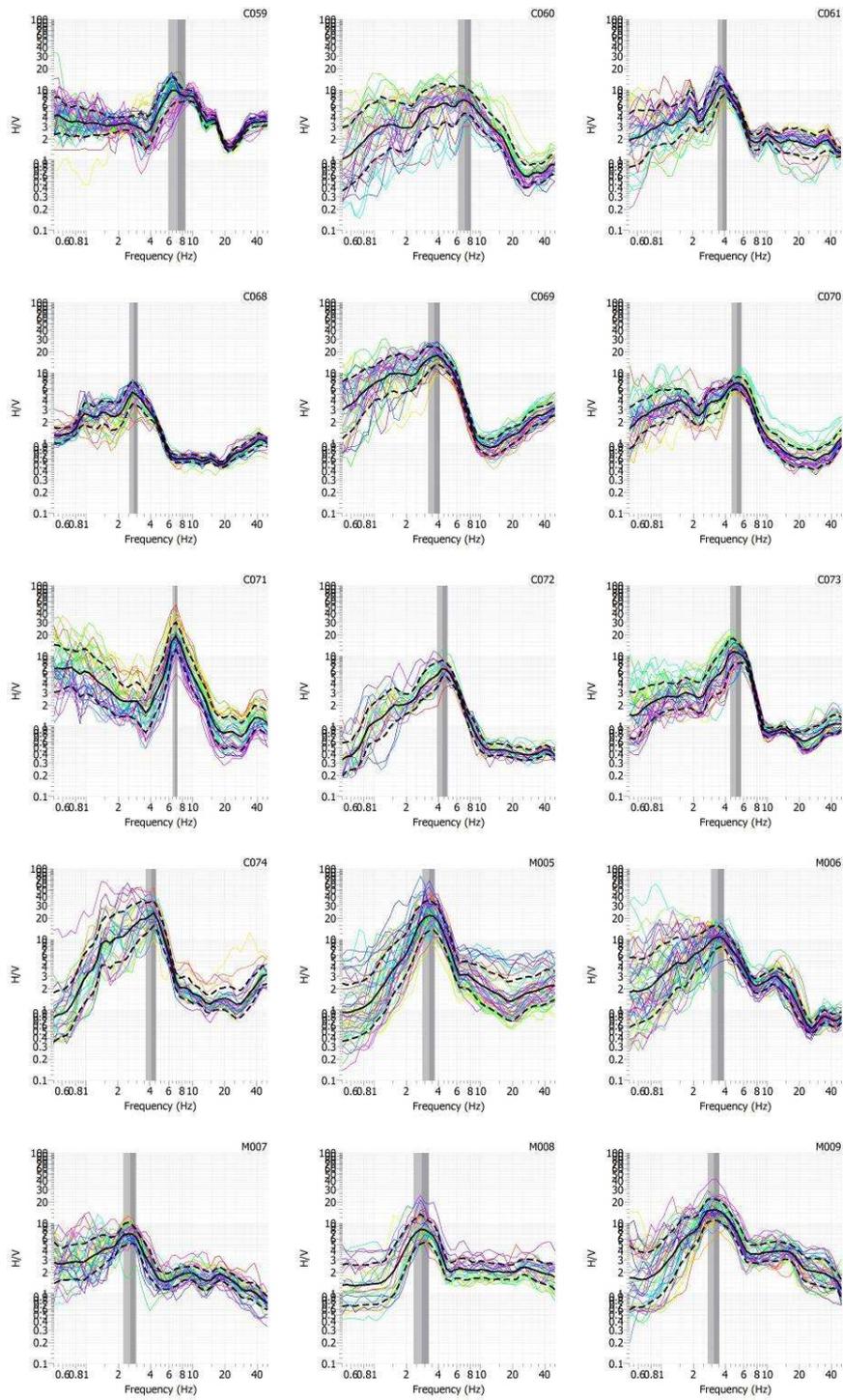
ANEXO

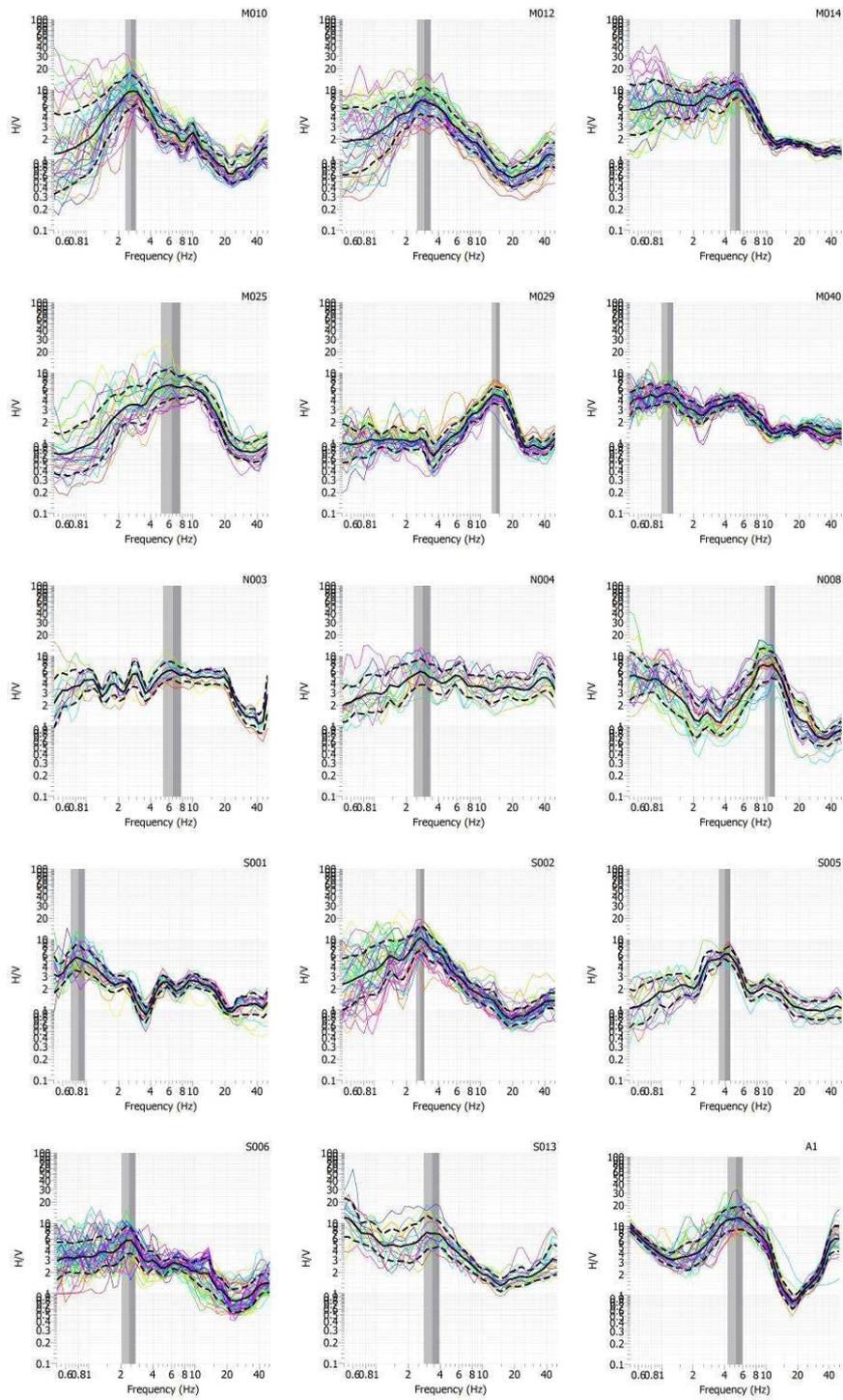
ID	X	Y	Frecuencia (Hz)	H/V	Periodo (seg)
M037	490529.03	1855510.39	5.20	1.50	0.19
M038	490818.58	1854462.49	5.00	1.50	0.20
M039	491797.53	1854283.25	1.14	1.46	0.88
M040	479677.77	1853635.21	1.20	5.40	0.83
M041	493399.11	1852034.06	2.80	1.30	0.36
M042	488063.11	1854171.22	1.40	2.00	0.71
M043	486518.84	1854819.26	5.30	1.00	0.19

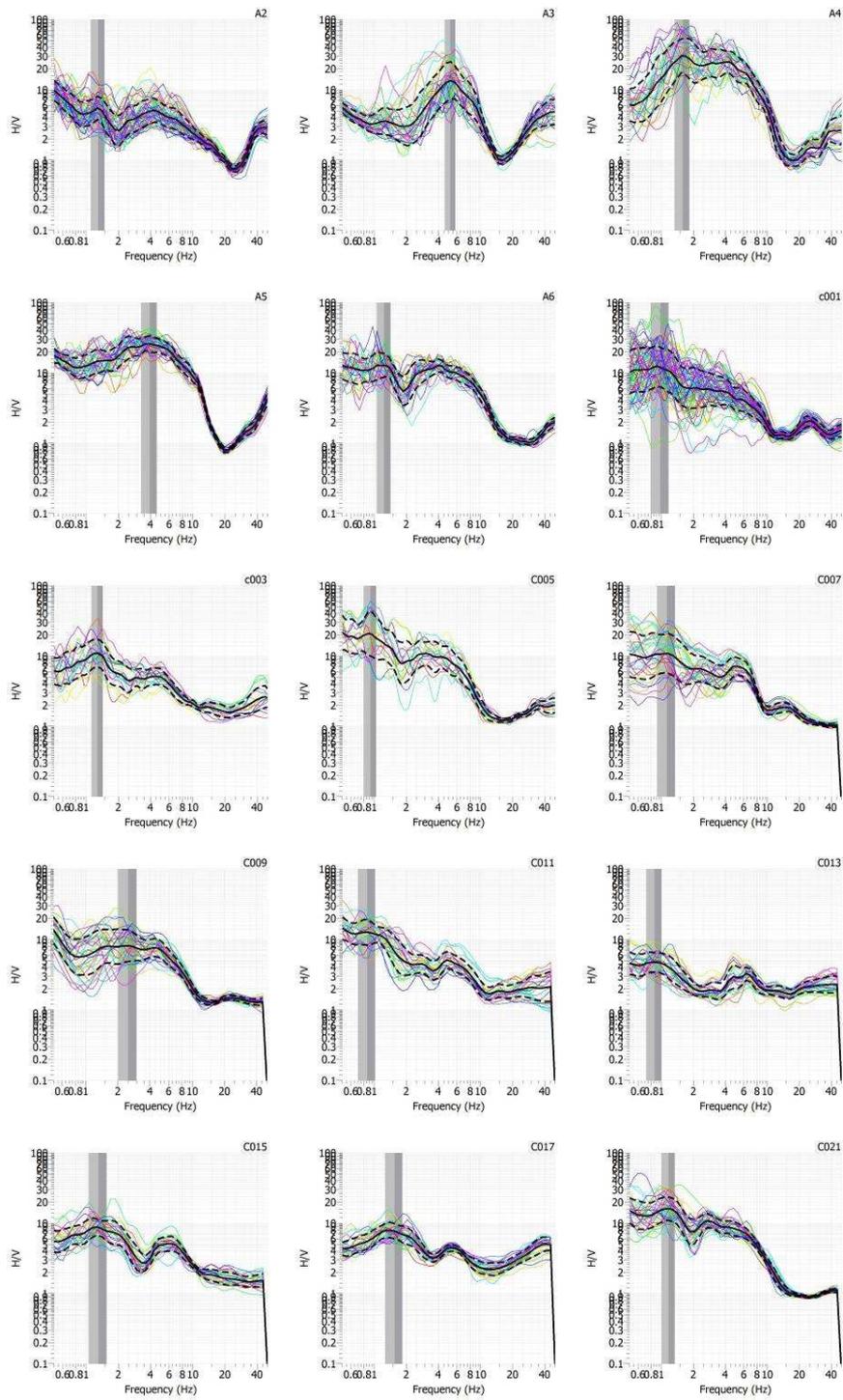
Gráficas de cocientes espectrales H/V

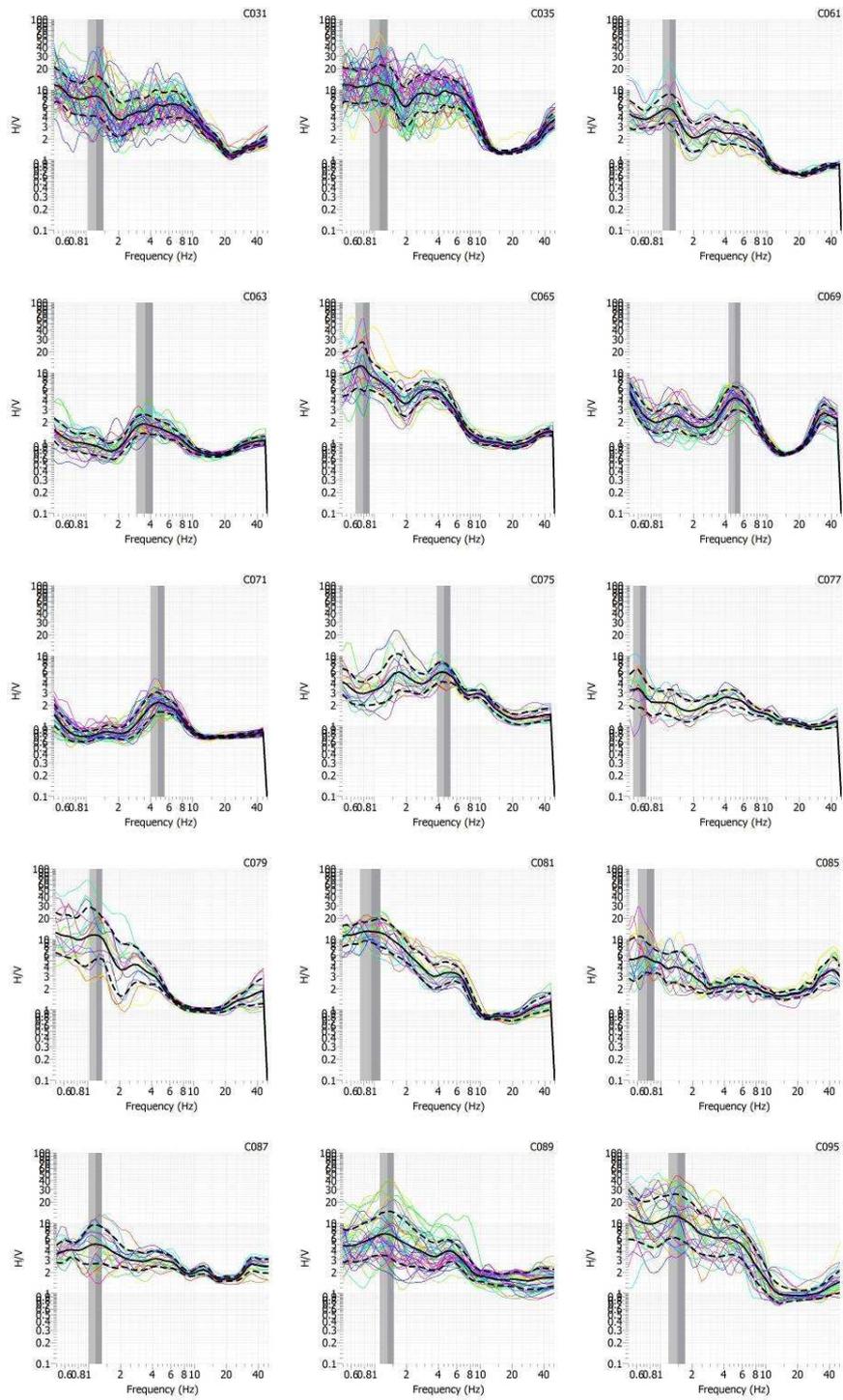


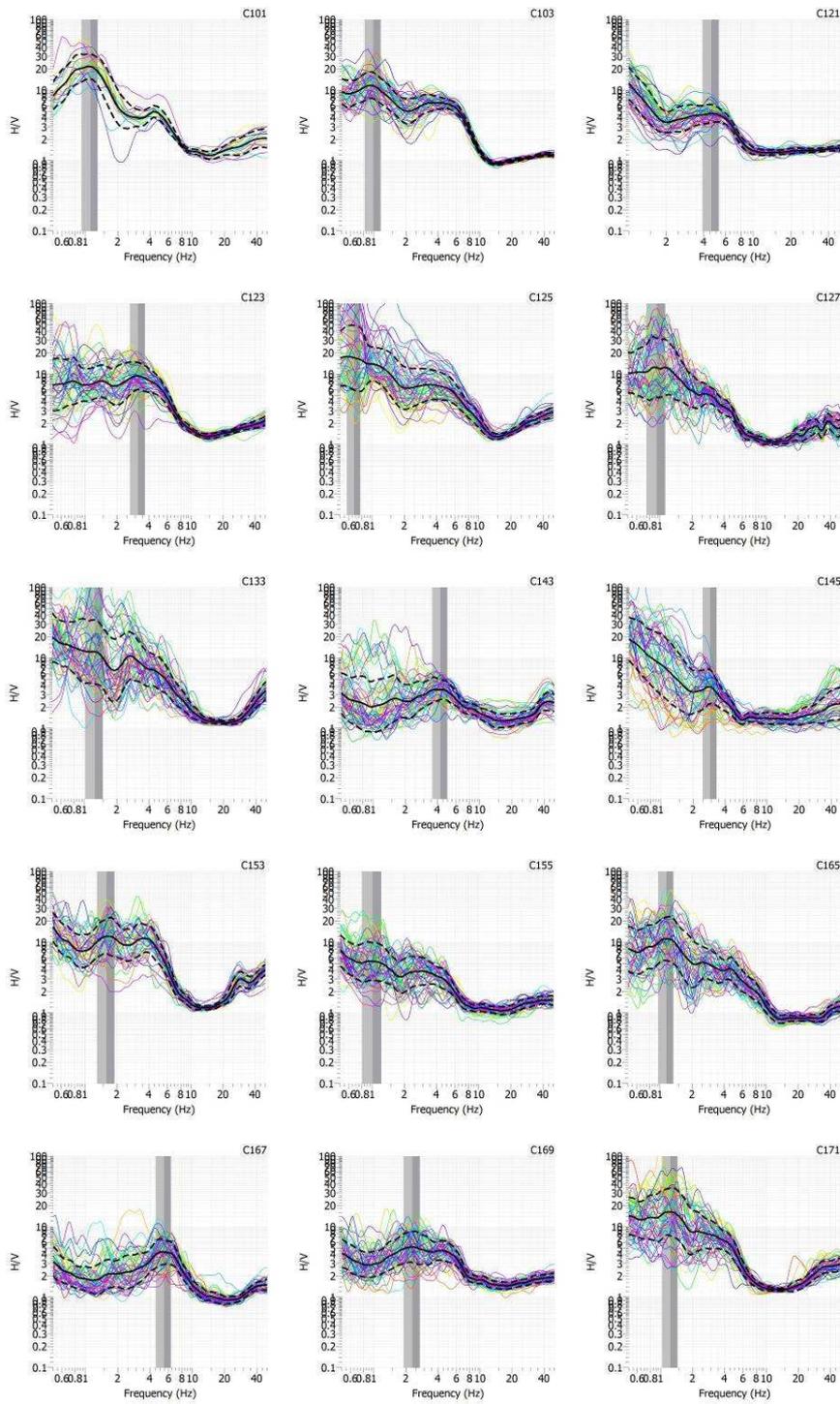


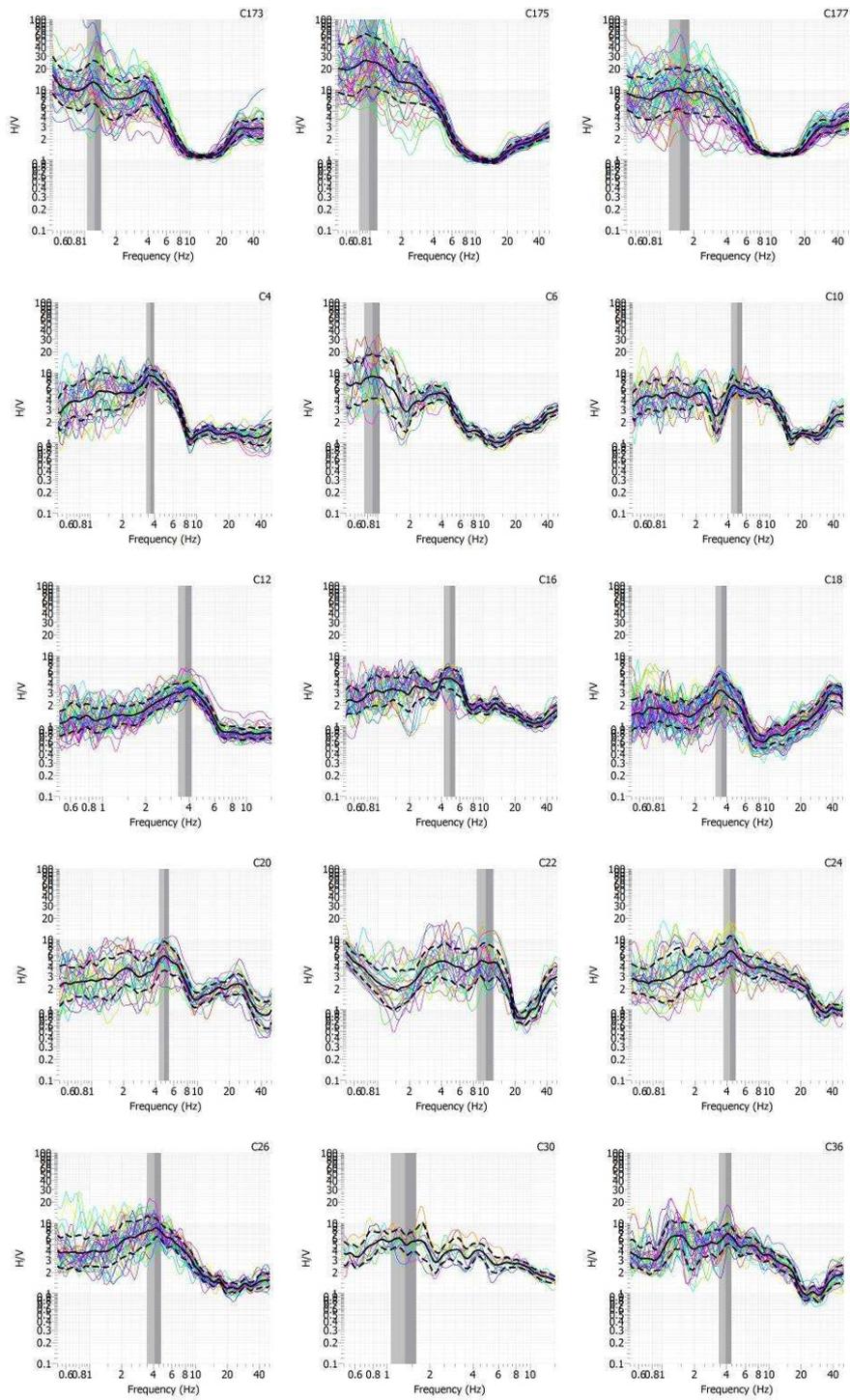


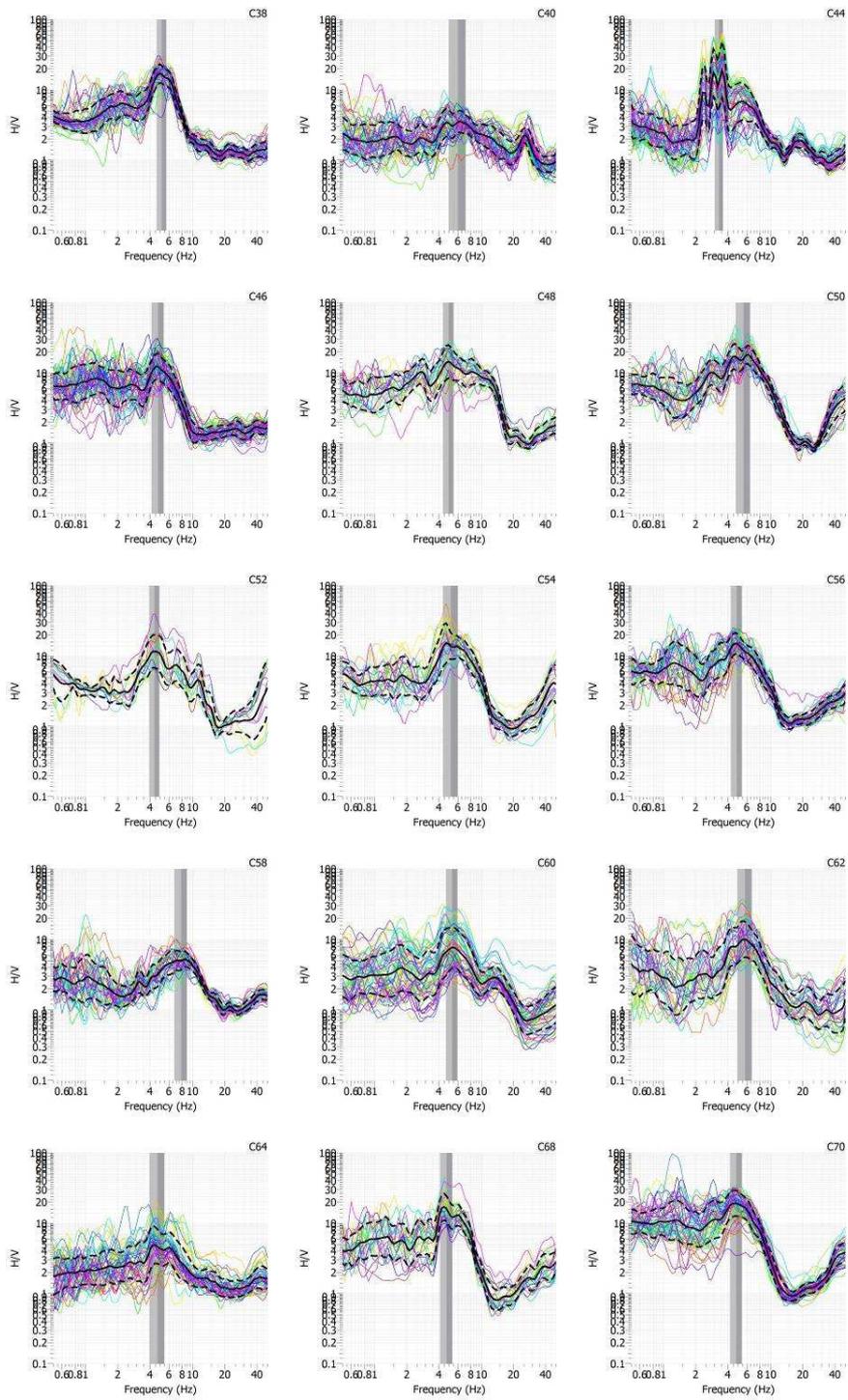


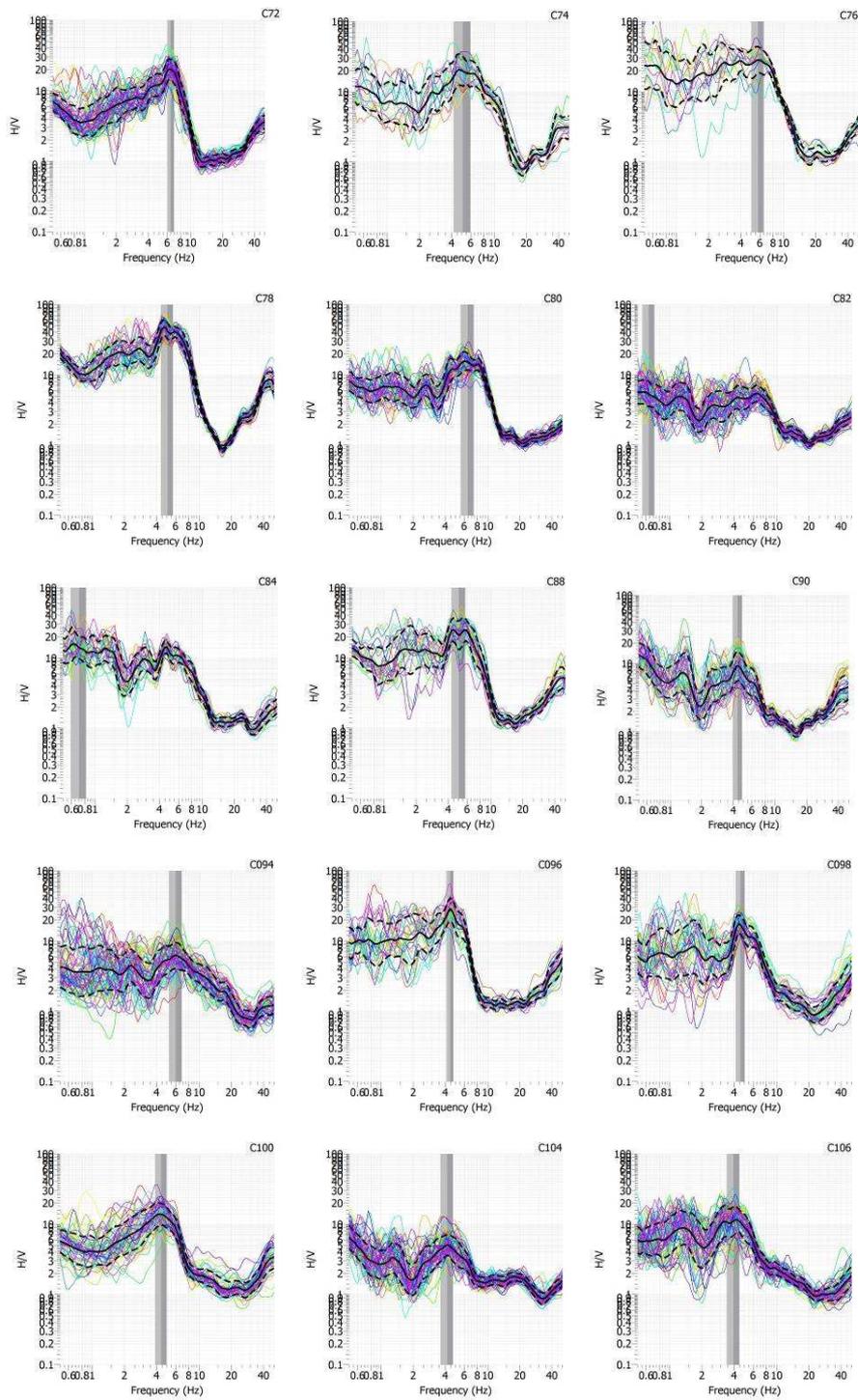


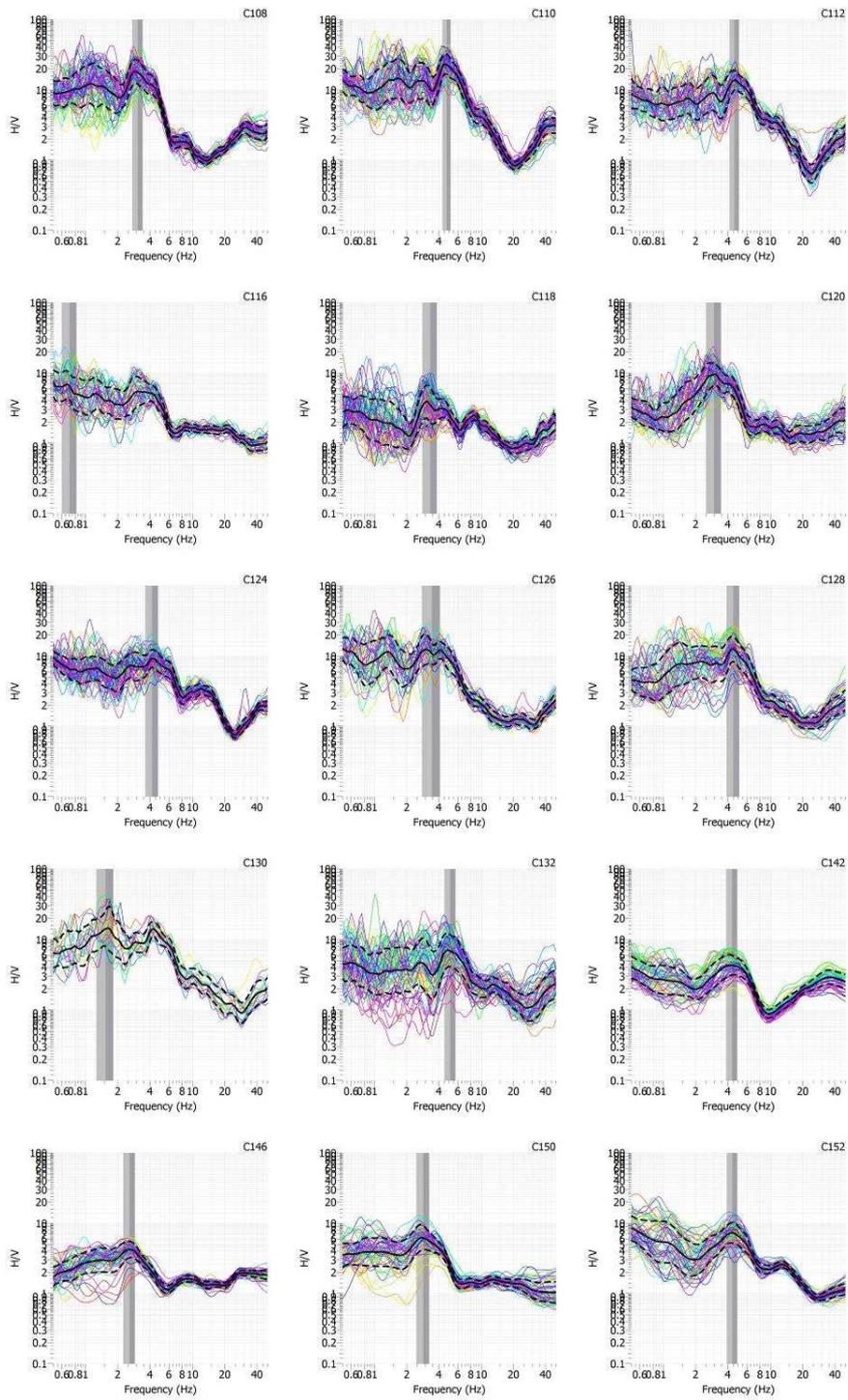


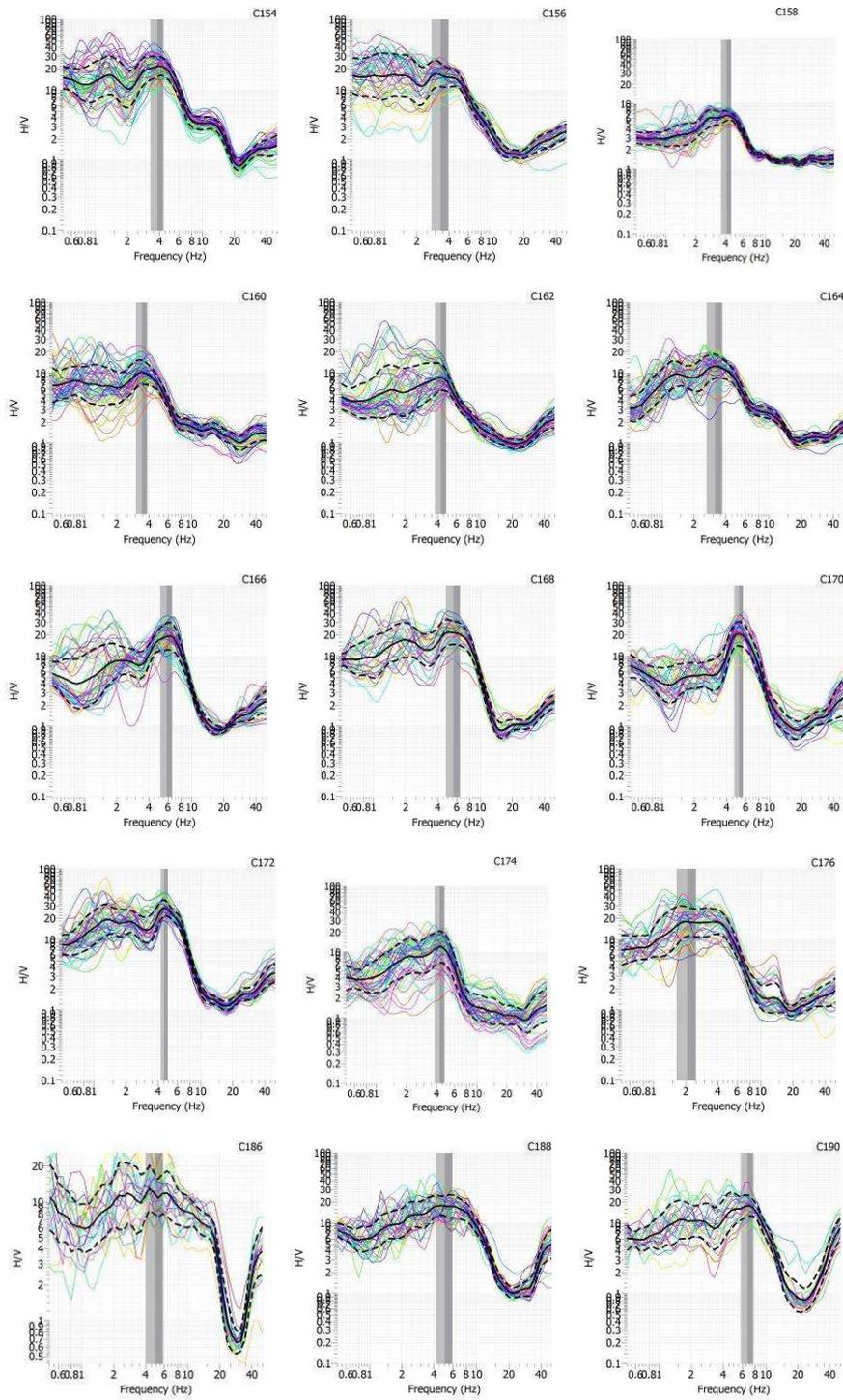


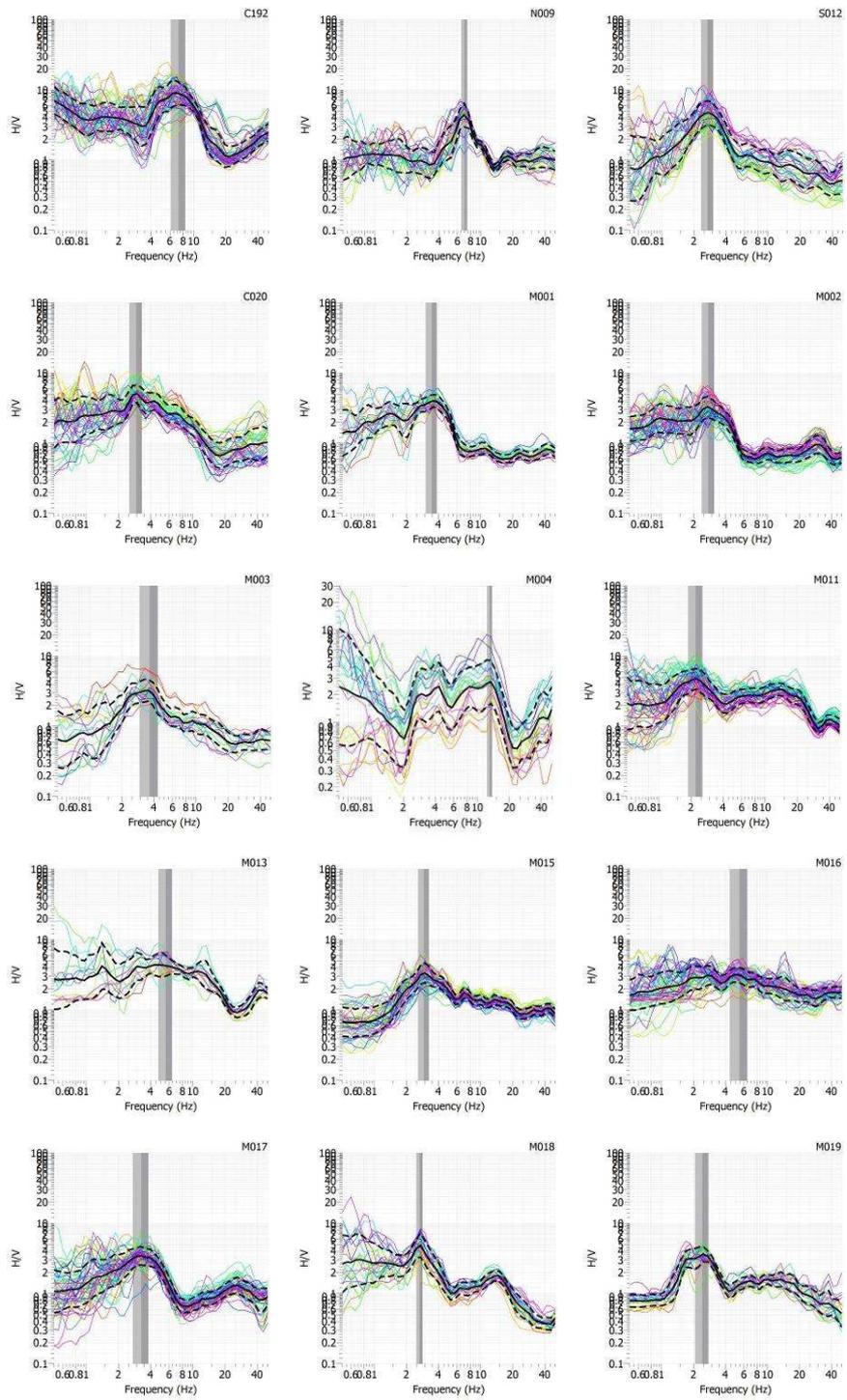


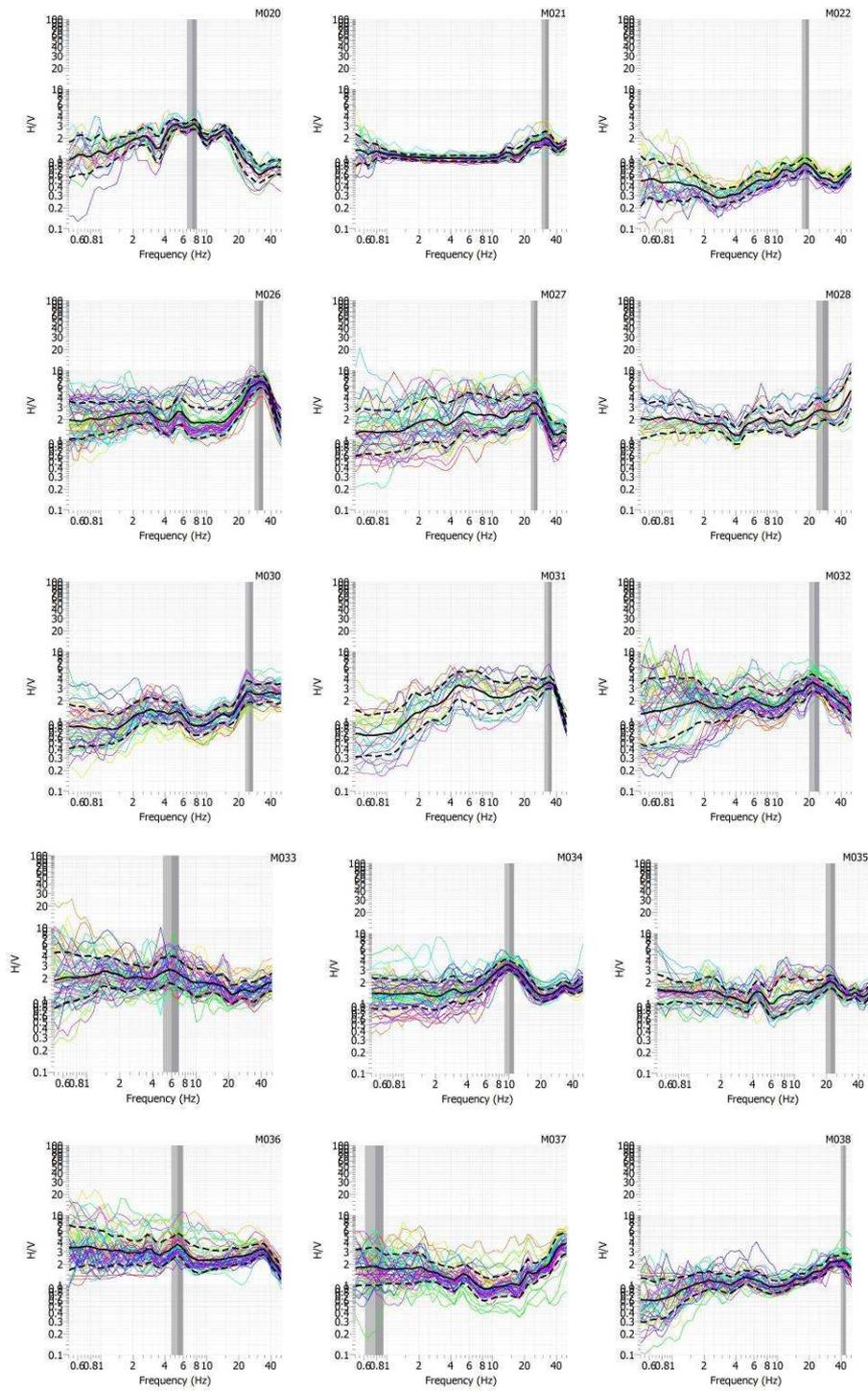


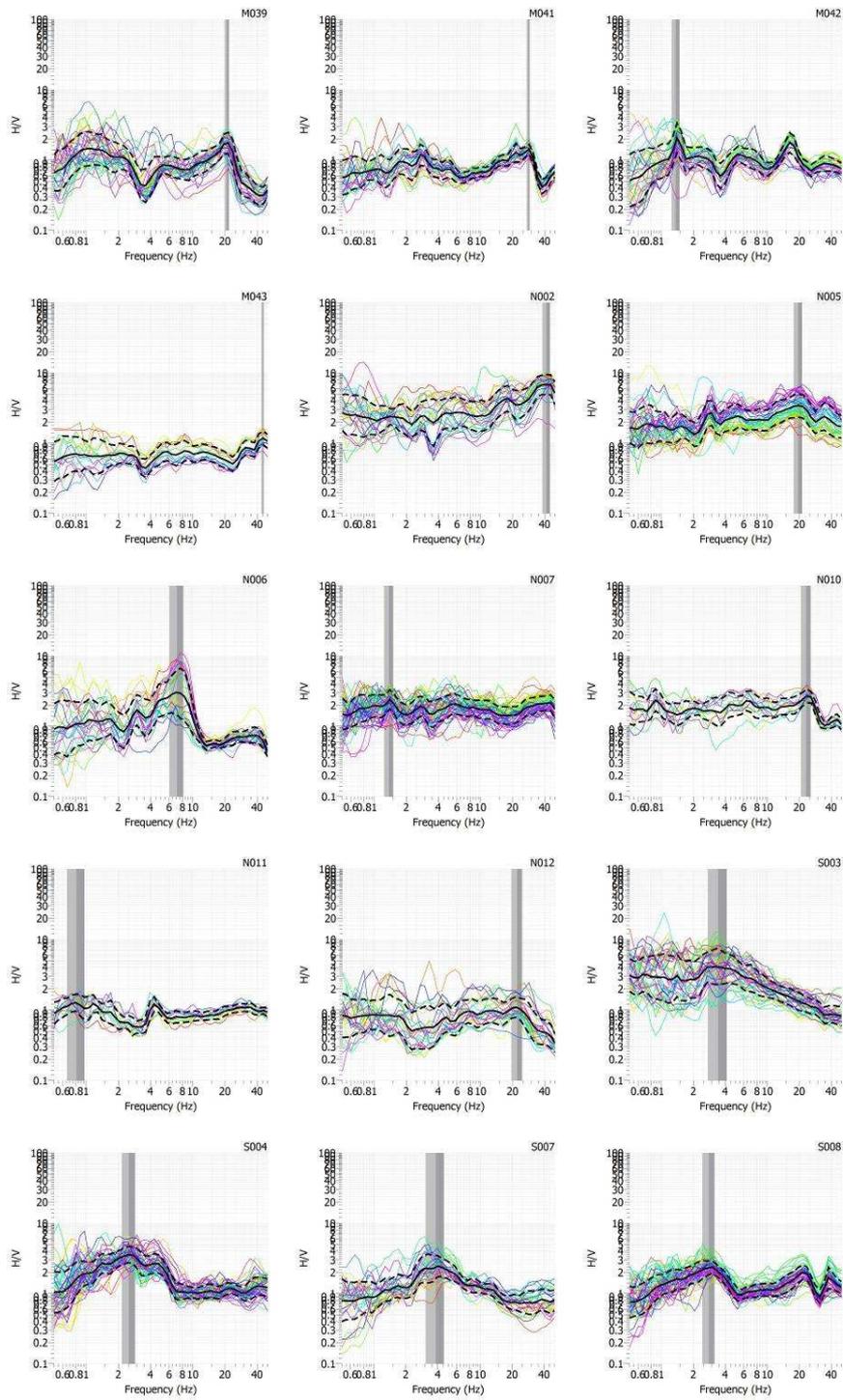


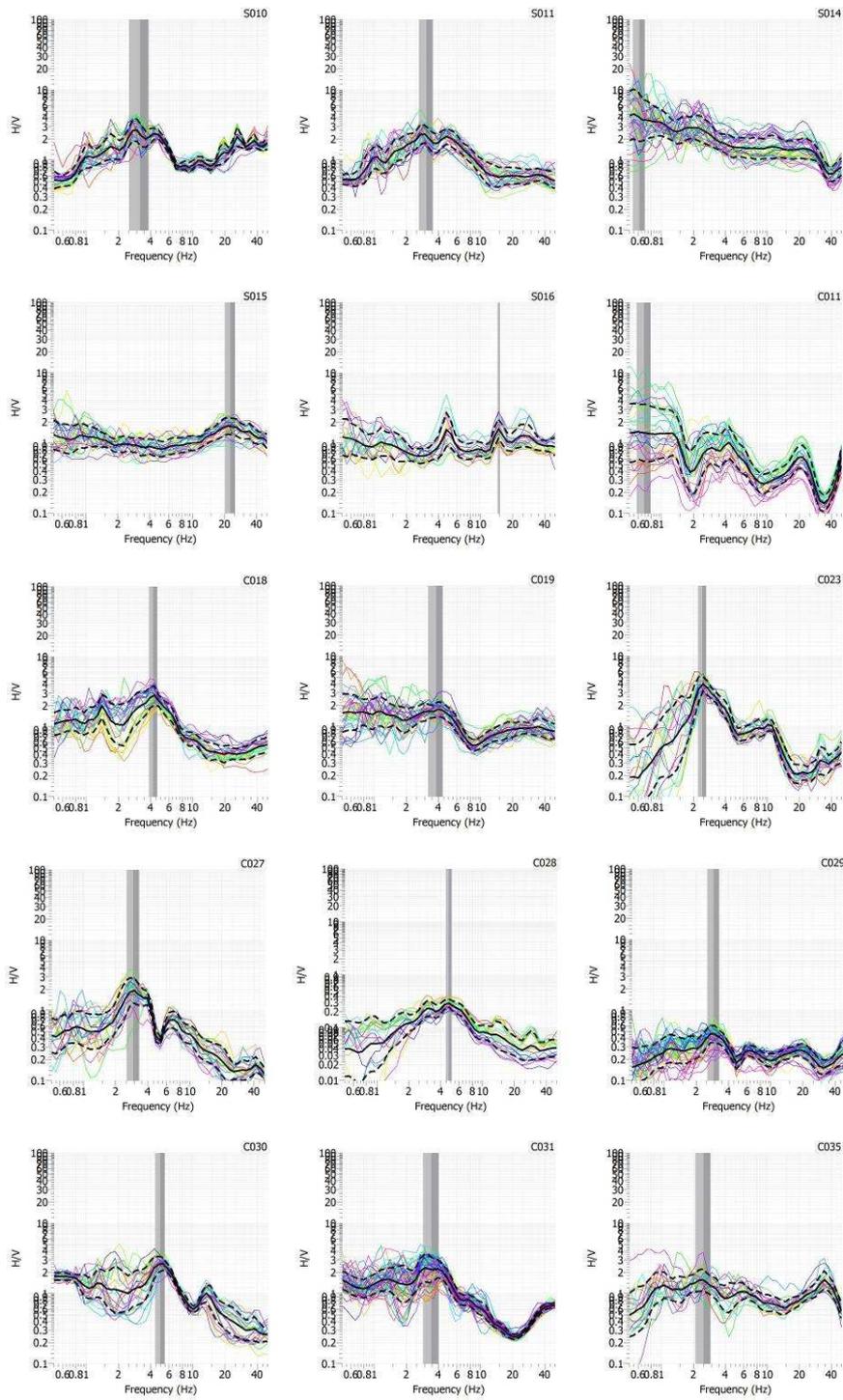


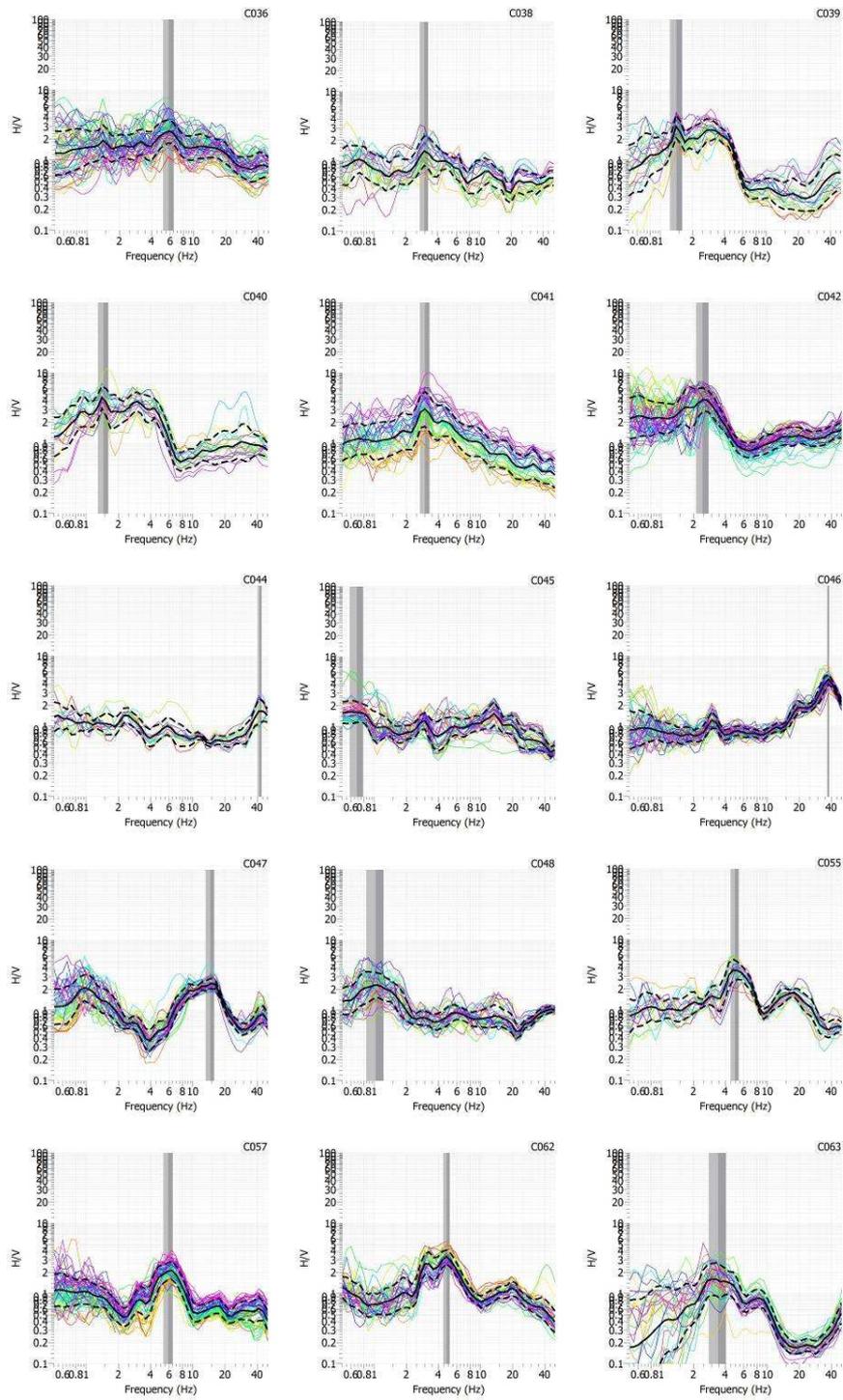


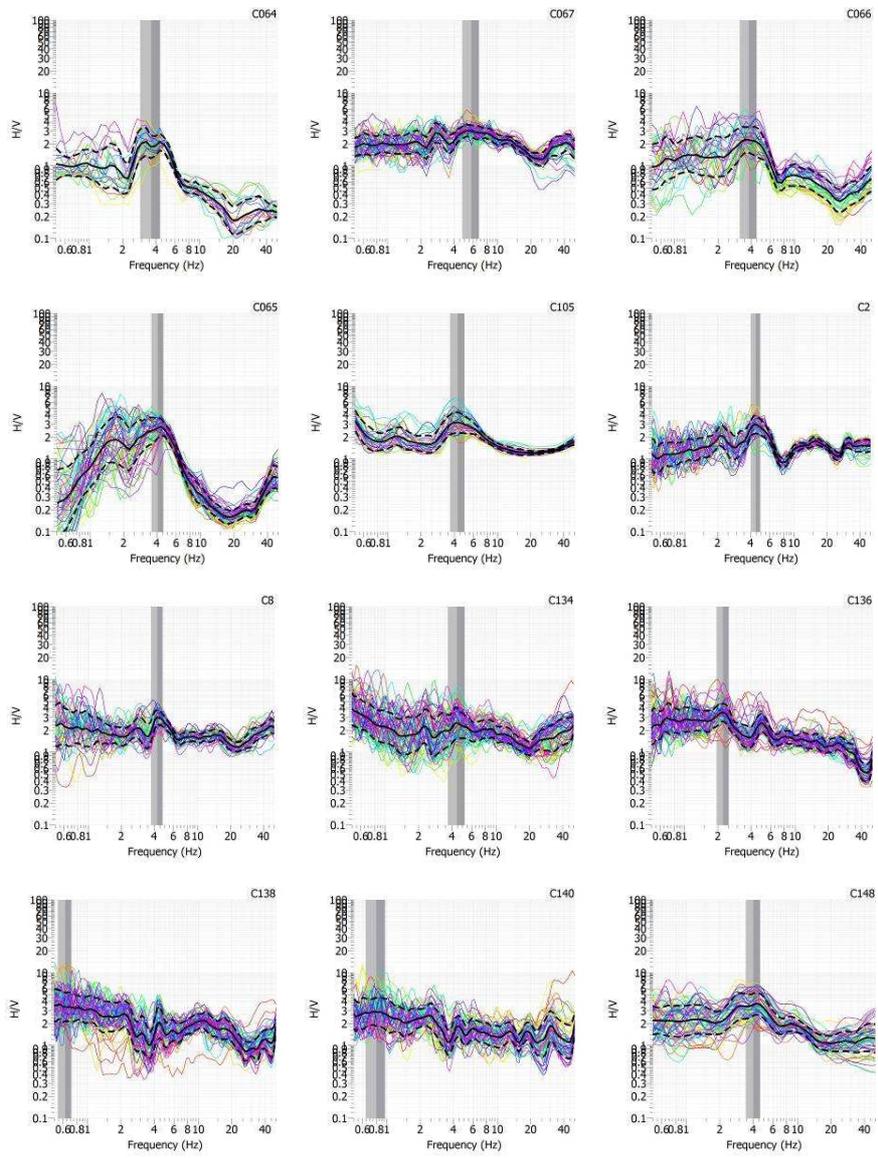












BIBLIOGRAFÍA

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

Alfaro, A. 1997. Estimación de Períodos Predominantes de los Suelos de Barcelona a partir de Microtremores. M. Sc. Tesis, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España. Informe ICC No. GS091-97.

Alfaro, A. 2005, Aplicación de los Microtemblores en la ingeniería sísmica, XVI jornadas estructurales de la ingeniería en Colombia.

Alfaro, A., Goula, X., Susagna, T, Pujades, L.G., Canas, J.A., Navarro, M, Sánchez, J. 1998. Estimación del Período Predominante del Suelo a Partir de Microtemblores, Aplicación a Barcelona. IX Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Aguadulce (Almería, España) Febrero 9-13, 1998.

Alfaro, A., Navarro, M., Sánchez J. y Pujades, L.G. 1999b. Microzonificación Sísmica de Barcelona utilizando el Método de Nakamura. Ventajas y Limitaciones. Proc. Primer Congreso Nacional de Ing. Sísmica. Murcia. España. 1:273-278.

Alonso, G., Cruz, R., Santos, F., Ramírez, M., Ruiz, M. e. Iglesias, J. 1995. Zonación sísmica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, 1ra edición Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, México.

Bard P. 1999. Microtremor measurements: A tool for site effect estimation?. The Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Edited by Irikura, Kudo, Okada & Sasatani, 1999 Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5809 030 2, Pag1252-1279.

BIBLIOGRAFÍA

Bard P. et al, 2004. Guidelines for the implementation of the H/V Spectral ratio Technique on ambient vibrations, Measurements, Processing and interpretation. SESAME European research project. University Joseph Fourier, Grenoble, France 62p.

Canavos C., George 1988. Probabilidad y Estadística, Aplicaciones y métodos. Primera edición, Mexico D.F., Editorial McGraw-Hill, pp.667

Castro-Mora Jesús, y otros., 1999: Monografía Geológico-Minera del estado de Chiapas. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Coordinación General de Minería. Editadas por el Consejo de Recursos Minerales Centro Minero. 178p.

De la Rosa J. 1989. Geología del Estado de Chiapas. Comisión Federal de Electricidad INDE-Guatemala, C.A; Gobierno del Estado de Chiapas. México D.F. 192p.

Espíndola Castro, V.H. 1996. Sismicidad asociada a la zona de subducción de Chiapas. Tesis de Maestría, División de Ciencias de la Tierra, Departamento de Sismología, CICESE. Ensenada, Baja California, México. 81 pp.

Espinoza, F. 1999. Determinación de las características dinámicas de estructuras. Tesis Doctoral Universidad politécnica de Cataluña.

Graü, C. 2008. Caracterización de sitio, optimización de adquisición y reducción de riesgos en campaña sísmica terrestre, Universidad Simón Bolívar, Sartanejas.

Guzmán M., y Meneses J.J., 2000. The North America-Caribbean plate boundary west of the Motagua-Polochic fault system: a fault jog in Southeastern Mexico. Journal of South American Earth Sciences, Vol. 13, pp. 459-468.

Kanai, K., and T. Tanaka, 1961. On microtremors. VIII, Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ., 39, 97-114.

BIBLIOGRAFÍA

Konno, K. and Ohmachi, T. 1998. Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components of Microtremor. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 88, 228-241.

Lachet, C. and Bard, P. Y. 1994. Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of the "Nakamura's" technique, *Jour. Phys. Earth*, 42, 377-397.

Lermo, J. and F. J. Chávez-García, 1994. Are microtremors useful in site response evaluation?, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 83,1350-1364.

Lugo, J. 1988. *Elementos de Geomorfología Aplicada (Métodos Cartográficos)*. Instituto de Geografía. UNAM. México D.F. 128 p.

Mullerried, F. 1957. *Geología de Chiapas*. Editorial Cultura. México D.F. 179 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, 25-33pp.

Nakamura, Y. 2000. Clear Identification Of Fundamental Idea Of Nakamura's Technique And Its Applications. *Procc. 12WCEE*. New Zeland.

Narcía C, 2011. Sismicidad registrada en la estación acelerométrica de la UNICACH. *Estudios Ambientales y riesgos naturales* Editorial Jaguar. 47-50pp.

Narcía C. 2009 "Importancia del estudio de los sismos en Chiapas" *Estudios Ambientales y Riesgos Naturales* 1ra edición Editorial Jaguar 2009. 51-73pp.

Narcía López, C. 2002. *Espesor de la corteza en Chiapas mediante ondas directas y convertidas*. Tesis de Maestría, División de Ciencias de la Tierra, Departamento de Sismología, CICESE. Ensenada, Baja California, México. p.91.

BIBLIOGRAFÍA

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. Que hacer Científico en Chiapas. UNACH Vol. 1. Núm. 1. Segunda época. Enero - junio.

Paolini, M. 2006. Análisis de los períodos fundamentales del suelo en la ciudad de Carora, municipio Torres, estado Lara. Tesis de licenciatura Universidad simón Bolívar, Sartenejas.

Priego, A., Isunza, E., Luna, N., Pérez, J.L. 2003. Método para realizar mapa de disección vertical. Citados en: Priego, A., Bocco, G., Mendoza, M., Garrido, A. 2008. Fundamentos para la generación semi automatizada de Unidades de Paisaje. Fundamentos y Método. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM. México D.F. 73-79 pp.

Ramos, S. 2010. Plan operativo de protección civil por riesgo sísmico. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas Centro de Monitoreo Vulcanológico y Sismológico, Libramiento Norte Poniente S/N, Col. Lajas Maciel.

Roca, A. 1996. Apuntes docentes del curso de instrumentación sísmica. Doctorado de ingeniería sísmica y dinámica estructural, Universidad Politécnica de Cataluña Barcelona España.

Rodríguez J. 2005 Bases y desarrollo de sistemas de control sísmico para el ferrocarril: Aplicación a la Alta Velocidad Española (AVE) Tesis Doctoral. Facultad de C.C. Físicas (U.C.M.) Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I (Geofísica y Meteorología).

Rodríguez, Q. 2007. Estructura tridimensional de velocidades para el sureste de México, mediante el análisis de trazado de rayos sísmicos de sismos regionales. Tesis de Maestría posgrado de Ciencias de la Tierra, Sismología y Física del Interior de la Tierra. Instituto de Geofísica UNAM México DF 83 pp.

BIBLIOGRAFÍA

Sedlock, R.L., F. Ortega Gutiérrez y R.C. Speed. 1993. Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico. GSA Books Science. Colorado, USA. (Special paper, 278). 153 pp.

Tupak, O. 2009. Microzonificación sísmica, Universidad Internacional de Andalucía. UNÍA Huelva, España.

Yauri, S. 2006. Microtremores. Compendio de trabajos de investigación del Instituto Geofísico del Perú V 7 p 43-56

CENAPRED 2001. Sismos serie fascículos 4ta edición diciembre 2001.

CENAPRED, SISTEMA NACIONAL DE PROT. CIVIL (2006) – Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos: fenómenos geológicos.

CENAPRED, SISTEMA NACIONAL DE PROT. CIVIL (2006) – Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos: evaluación de la vulnerabilidad física y social. CENAPRED.

Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática. 1984. Carta Geológica. Tuxtla Gutiérrez. E15-11. Escala 1: 250 000.

Kinematics, 2005. EpiSensor, Force Balance Accelerometer, Model FBA ES-T, User Guide.

SGM, INEGI, SE (2005) – Carta geológica-minera Tuxtla Gutiérrez E15-11 Chiapas y Oaxaca. Servicio Geológico Mexicano.

Atlas de Chiapas 2010, Hidrografía de Tuxtla Gutierrez, Chiapas.

<http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/wpcontent/uploads/downloads/2011/04/atlas2010/A>

BIBLIOGRAFÍA

tlas2010.swf

Censo de población y vivienda. <http://www.inegi.org.mx/> (diciembre 2010)

Sistema Estatal de Protección Civil, 2010, Plan operativo de protección civil por riesgo sísmico. edo de Chiapas, <http://www.proteccioncivil.chiapas.gob.mx/> (22 abril 2011)

Servicio Sismológico Nacional, Regiones sísmicas en México
http://www.ssn.unam.mx/website/jsp/region_sismica_mx.jsp. (28 enero 2012).

<http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/> (15 mayo 2011)

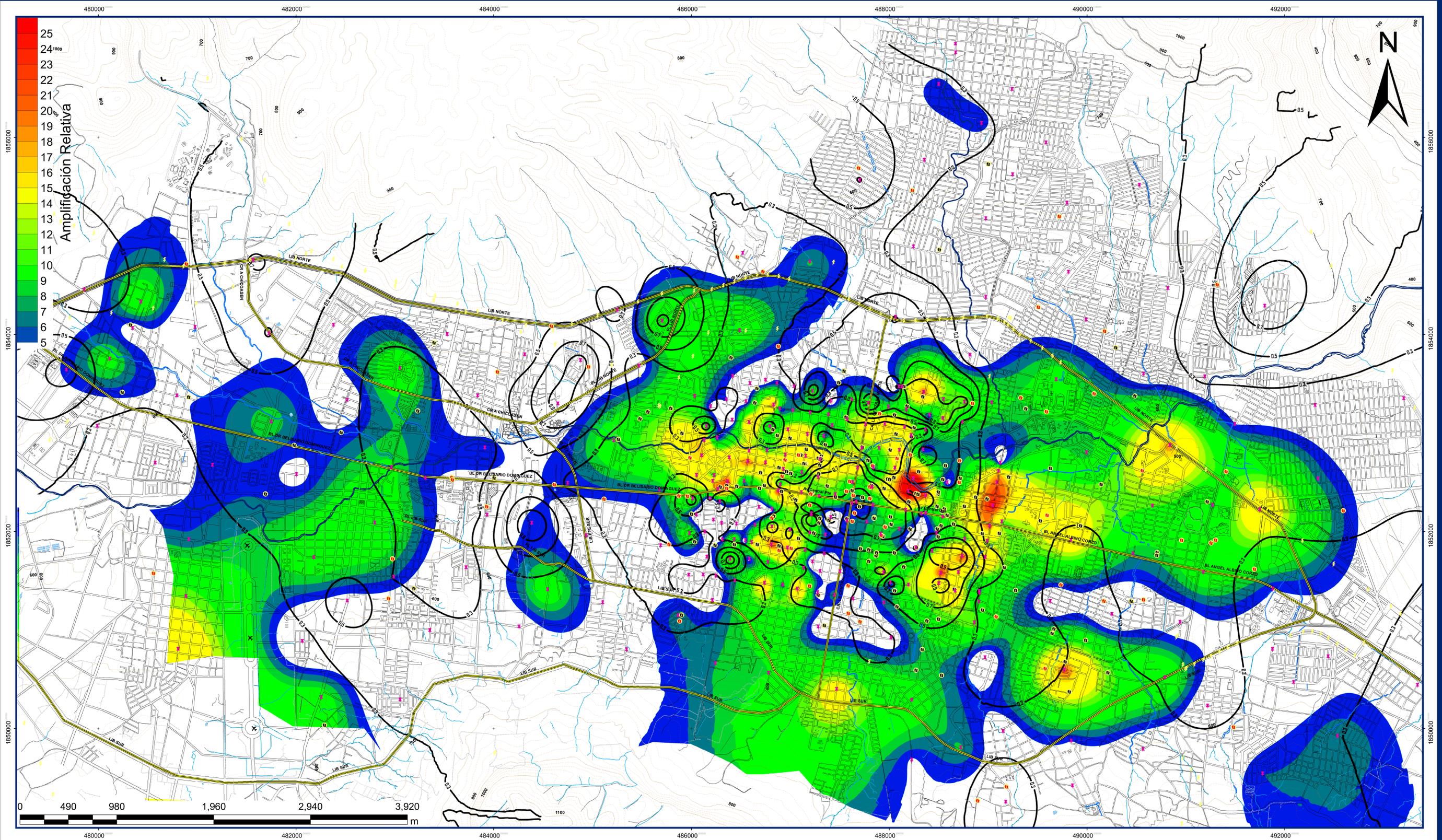
<http://www.ssn.unam.mx/> (21 mayo 2011)

<http://www.geopsy.org/> (4 octubre 2010)

www.kmi.com/Download/OtherDownloads/SSAtoEVTFFileConverter. (4 mayo 2011)

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Distribución espacial de periodos dominantes



Simbología
DATUM: WGS84 ZONA 15
Escala 1:12,500

Orografía
Curvas Maestras
Curvas Ordinarias

Comunicaciones
Terracería
Av. Principales
Caminos

Infraestructura
Aeropuerto
T-Alta-Tensión

Daños Estructurales
Daños-Sismo 2011
Daños-Sismo 1995

Hidrografía
Canal
Escorrentamiento
Masas de agua
Río

Registros
Período Característico del suelo