
MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA URBANA DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA







MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA URBANA DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	7
2	ANTECEDENTES	7
	Regionalización sísmica	8
	Sismicidad histórica.....	10
	Sismicidad local	12
	Periodos de retorno.....	14
	Aceleración máxima	18
	Intensidad sísmica	19
2.1	Objetivo del estudio	21
2.2	Información recopilada (antecedentes)	21
3	DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS DEL SITIO.....	22
3.1	Localización del sitio en estudio	22
3.2	Entorno geológico general.....	23
	Período del Cretácico	24
	Período del Paleógeno-Neógeno	25
	Período del Cuaternario	26
3.1.1	Entorno geológico particular	28
	Cuencas y subcuencas.....	30
3.1.2	Zonificación geotécnica de la Ciudad de México.....	30
3.1.3	Agrietamientos de suelos	33
4	MÉTODO H/V O VIBRACIÓN AMBIENTAL (VA) PARA LA DETERMINACIÓN DE PERIODOS FUNDAMENTALES	35
4.1	Método H/V o Vibración Ambiental (VA).....	38
5	PRUEBAS DE VIBRACIÓN AMBIENTAL (VA).....	40
5.1	Procesamiento de datos	44
5.2	Periodos dominantes	44
6	CONCLUSIONES	51
7	RECOMENDACIONES	51
8	REFERENCIAS.....	52
9	ANEXOS	55
	Anexo I Puntos de muestreo.....	55
	Anexo II	64
	Créditos.....	73

1 INTRODUCCIÓN

La zona oriente de la ciudad de México está clasificada geotécnicamente como zona de Lomas, es decir zona de terreno firme, sin embargo, se ha observado que la delegación Milpa Alta ha presentado daños ocasionados por los sismos debido a la inestabilidad del subsuelo, la ubicación de dicho municipio y el contexto sísmico al que está involucrado incrementa el peligro sísmico al que está sujeto la demarcación.

Uno de los instrumentos más recurridos para la prevención del riesgo sísmico han sido los mapas de microzonificación sísmica que ayudan a las autoridades locales, ingenieros y expertos en el planeamiento territorial y en los reglamentos y normas de construcción para tomar medidas precisas para el diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes.

La microzonificación sísmica clasifica el subsuelo en diferentes zonas de peligro que son plasmadas en un mapa del territorio, es por ello por lo que en este estudio se han instalado estaciones de vibración ambiental con la finalidad de conocer las zonas geotécnicas que imperan en la delegación Milpa Alta.

2 ANTECEDENTES

Los sismos son provocados por el rompimiento abrupto de cierto volumen de rocas en el interior de la Tierra, esta liberación repentina de energía se propaga en forma de ondas sísmicas en todas las direcciones, provocando el movimiento del terreno.

En relación con los sismos, México es un país de alta sismicidad debido a la interacción de cinco placas tectónicas, entre ellas destaca la placa de Cocos que subduce a la placa Norteamericana donde se producen los sismos de mayor magnitud del país. México es una de las regiones sísmicamente más activas del mundo, enclavada dentro del área conocida como el Cinturón de Fuego donde se concentra la mayor actividad sísmica del planeta.

La metodología aplicada para la elaboración de la microzonificación en la demarcación consta de: la regionalización sísmica, sismicidad histórica, sismicidad local, periodos de retorno, aceleración máxima e intensidad sísmica.

Regionalización sísmica

Con fines de diseño antisísmico, la Comisión Federal de Electricidad elaboró desde 1993 un mapa con la regionalización sísmica de la República Mexicana, que muestra las zonas de mayor sismicidad. La República Mexicana se dividió en cuatro zonas sísmicas, utilizándose los catálogos de sismos del país desde inicios de siglo pasado.

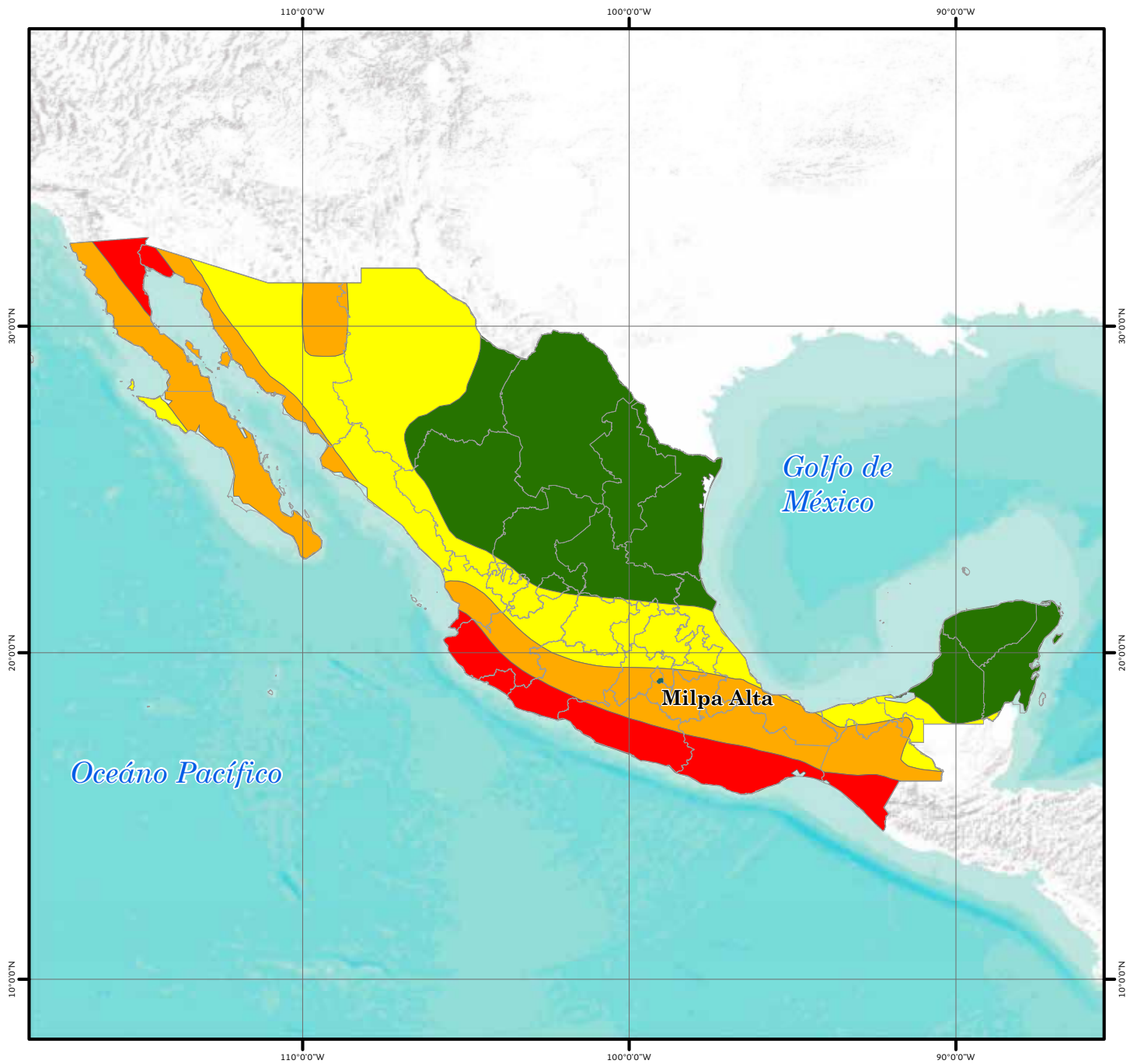
La determinación de la regionalización sísmica en Milpa Alta se basa en información publicada en el *Manual de obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad* (2015), capítulo “Diseño por Sismo” (MDOC-DS). En dicho documento se encuentra publicado el mapa de Regionalización Sísmica de México generado a partir los catálogos de sismicidad y el valor de la aceleración máxima del subsuelo. Este mapa divide el territorio nacional en cuatro zonas sísmicas (Tabla 1).

La Ciudad de México, se encuentra localizada en la Zona B. A pesar de que la Ciudad de México se encuentra ubicada en la Zona B, pueden esperarse altas aceleraciones, ya que las condiciones del subsuelo del valle de México presentan capas arenosas con contenido diverso de limo y arcilla de espesores importantes altamente compresibles, además de depósitos de tipo lacustre, aluviales volcánicos y relleno artificial. Por lo anterior, la Ciudad de México ha sido expuesta a terremotos destructivos.

La delegación Milpa Alta se encuentra en la región sísmica tipo B, considerada como peligro intermedio, con aceleraciones mayores al 10% y menores al 36% de la gravedad, y la recurrencia de sismos es media (Mapa de regionalización sísmica).

Zona sísmica	Valor de aceleración (%)	Frecuencia de sismos
A	10	Baja
B	70	Media
C	70	Media
D	Mayor a 70	Alta

Tabla 1. Zonas sísmicas. Fuente: CFE (2015).



SIMBOLOGÍA

REGIONALIZACIÓN SÍSMICA



LÍMITES POLÍTICOS



MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA URBANA DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA, CIUDAD DE MÉXICO.



Año de elaboración: 2018
Datum: WGS84

COORDENADAS GEOGRÁFICAS
Gradícula: 10° 00' 00"
Unidades: grados

Escala 1:20,000,000



Asesor científico:
Dr. Raúl González Herrera
Responsable de proyecto:
Ing. Mariana Guadalupe Heredia Martínez

Elaboró:
Ing. Karen Michel
Gil Frausto

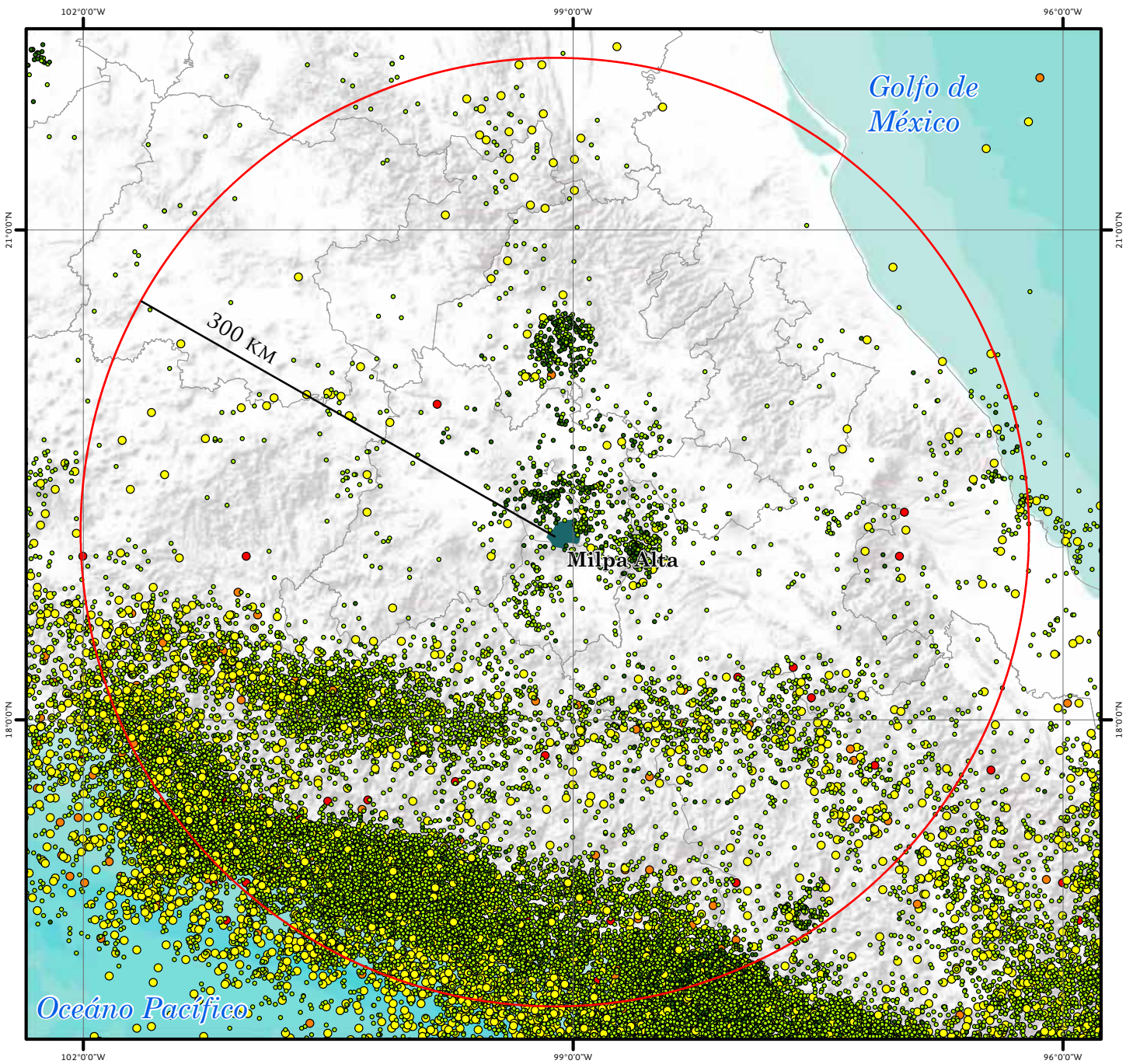
Fuentes:
Marco Geoesaístico Ciudad de México, INEGI 2018.
Regionalización sísmica (CFE, 2015); CENAPRED, 2018.
World Terrain Base.

Mapa de regionalización
sísmica

Sismicidad histórica

Los sismos son fenómenos geológicos que no pueden predecirse, sin embargo, existen análisis de información específica que contribuye a disminuir el riesgo sísmico, uno de esto es el análisis de la sismicidad histórica de la región, la base de datos empleada en este trabajo corresponde a diferentes catálogos de sismicidad existentes en México complementando al del Servicio Sismológico Nacional (SSN).

Para determinar el análisis de sismicidad histórica se localizaron y recopilaron los epicentros del territorio mexicano para determinar las zonas sismo tectónicas que pueden afectar a la delegación. Posteriormente se analizaron en un radio de 300 km todas las fuentes generadoras cercanas a la delegación Milpa Alta; también se determinaron las condiciones recurrentes de sismos importantes y el potencial sísmico (Mapa de sismicidad histórica).



SIMBOLOGÍA

SISMICIDAD HISTÓRICA

Magnitud

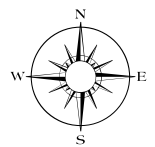
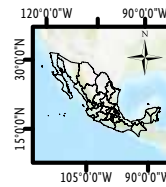
- 2-3
- 3-4
- 4-5
- 5-6
- 6-7

LÍMITES POLÍTICOS

- Límite Milpa Alta
- Límite estatal



MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA URBANA DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA, CIUDAD DE MÉXICO.



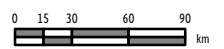
Año de elaboración: 2018
Datum: WGS84

COORDENADAS GEOGRÁFICAS
Gradícula: 00° 03' 00"
Unidades: grados

Asesor científico:
Dr. Raúl González Herrera
Responsable de proyecto:
Ing. Mariana Guadalupe Heredia Martínez

Elaboró:
Ing. Karen Michel
Gil Frausto

Escala 1:4,000,000



Fuentes:
Marco Geostatístico Ciudad de México, INEGI 2018.
Servicio Sismológico Nacional, SSN 2018.
World Terrain Base.

Los sismos se clasifican de acuerdo con su posición respecto al límite de placas (Stein & Wysession, 2002), en el territorio mexicano encontramos sismos interplaca ocasionados por la interacción entre las placas de Cocos y Rivera bajo la Norteamericana y la divergencia oblicua entre Norteamérica y Pacífico con una profundidad somera de 5 a 35 km, con magnitudes que han sobrepasado los 8 Mw ya que se tienen una mayor longitud de ruptura. También encontramos los sismos Intraplaca con magnitudes del orden de 6 a 7 Mw, se presentan dentro de la placa subducida con profundidades de más de los 100 km y por último los sismos corticales que son eventos superficiales, alejados de los límites de placas presentados principalmente en la Faja Volcánica Transmexicana.

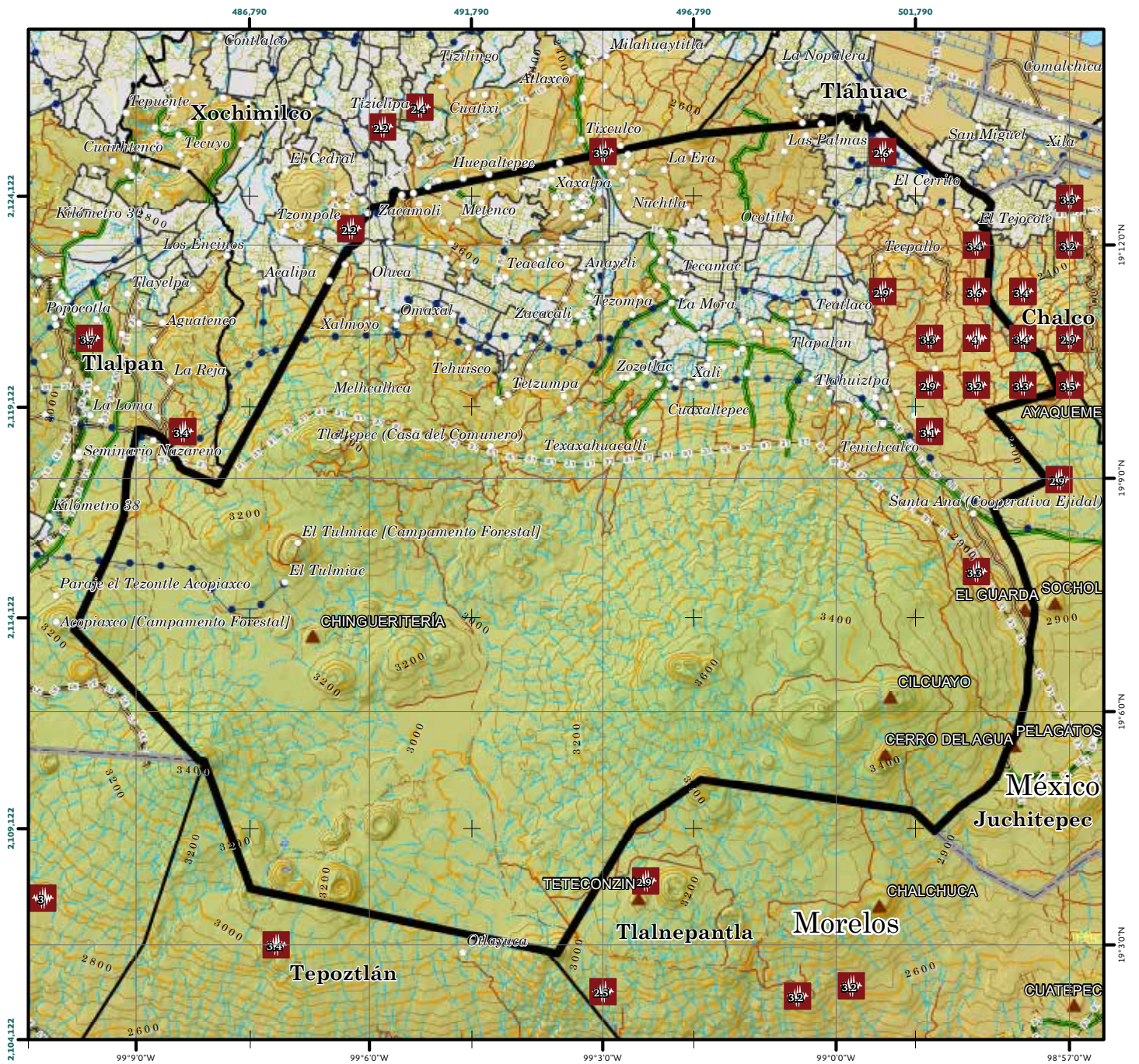
Se construyó una base de datos de 50,487 eventos sísmicos reportados por el SSN desde enero de 1990 a septiembre de 2017. La población de datos históricos refleja el tipo de sismo de acuerdo con la zona sismotectónica que se encuentre. En el mapa de la Figura 1.1 muestra que la mayor concentración de epicentros en el territorio nacional que inciden en la delegación proviene de las costas del Pacífico y la mayoría son de magnitud menor a cuatro, aunado a ello, el tipo de sismos que sobresalen son de profundidad intermedia además de sismos superficiales de menor intensidad.

De acuerdo a lo observado en la sismicidad histórica, los eventos más devastadores que

han afectado a la ciudad de México y a la delegación Milpa Alta han sido: el sismo de Acambay en 1912 de magnitud Mw 6.9, el denominado sismo del Ángel debido al derrumbe de la columna del Ángel de la Independencia ocurrido el 28 de julio de 1957 de magnitud 7.5 y epicentro en el estado de Guerrero, el evento de Petatlán del 14 de marzo de 1979 con magnitud de 7.6, el evento de Michoacán 1985 de magnitud 8.1 y recientemente recientemente es el sismo intraplaca del día 19 de septiembre de 2017 con magnitud 7.1 y localizado en el límite estatal entre los estados Puebla y Morelos, sí bien este último sismo no proviene de las costas del Pacífico causó daños en la región noreste de la demarcación.

Sismicidad local

La sismicidad dentro de la delegación de acuerdo a los catálogos de sismicidad histórica regional así como el catálogo de sismicidad local para la cuenca de México de Chavacán-Ávila (2007) es plasmada en el Mapa de epicentros locales, donde se observa un grupo de epicentros al noreste de la delegación y de las delegaciones aledañas, con magnitudes reportadas desde los 2 hasta los 3.7, si bien la magnitud de los sismos es pequeña, este tipo de sismos es percibido por la población, ya que a mayor cercanía con el epicentro, las ondas sísmicas se atenúan menos y el sismo se siente con mayor intensidad, los pueblos con mayor recurrencia sísmica son San Antonio Tecómitl, San Juan Tepenahuac y San Salvador Cuauhtenco.



SIMBOLOGÍA

EPICENTROS		LÍMITES POLÍTICOS		VÍAS DE COMUNICACIÓN	
	Epicentros		Localidad rural		Carretera
			Límite Milpa Alta		Pavimentada
			Límite estatal		Terracería
			Límite municipal		Calle
			AGEB		Brecha
			Manzana		Vereda
			Localidad urbana		
DATOS DE RELIEVE		INFRAESTRUCTURA			
	Oronimia		Línea comunicación		
	Curva de nivel 40 m		Vía férrea		
	Curva de nivel 200 m		Acueducto		
Altitud			Canal		
	3,680 msnm				
	2,080 msnm				
RASGOS HIDROGRÁFICOS					
	Cuerpo de agua				
	Corriente de agua				
	Intermitente				



MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA URBANA DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA, CIUDAD DE MÉXICO.



Año de elaboración: 2018
 Datum: WGS84

COORDENADAS GEOGRÁFICAS
 Gradícula: 00° 02' 00"
 Unidades: grados

COORDENADAS UTM
 Gradícula: 3,000
 Unidades: metros

Asesor científico:
 Dr. Raúl González Herrera
 Responsable de proyecto:
 Ing. Mariana Guadalupe Heredia Martínez

Elaboró:
 Ing. Karen Michel
 Gil Frausto

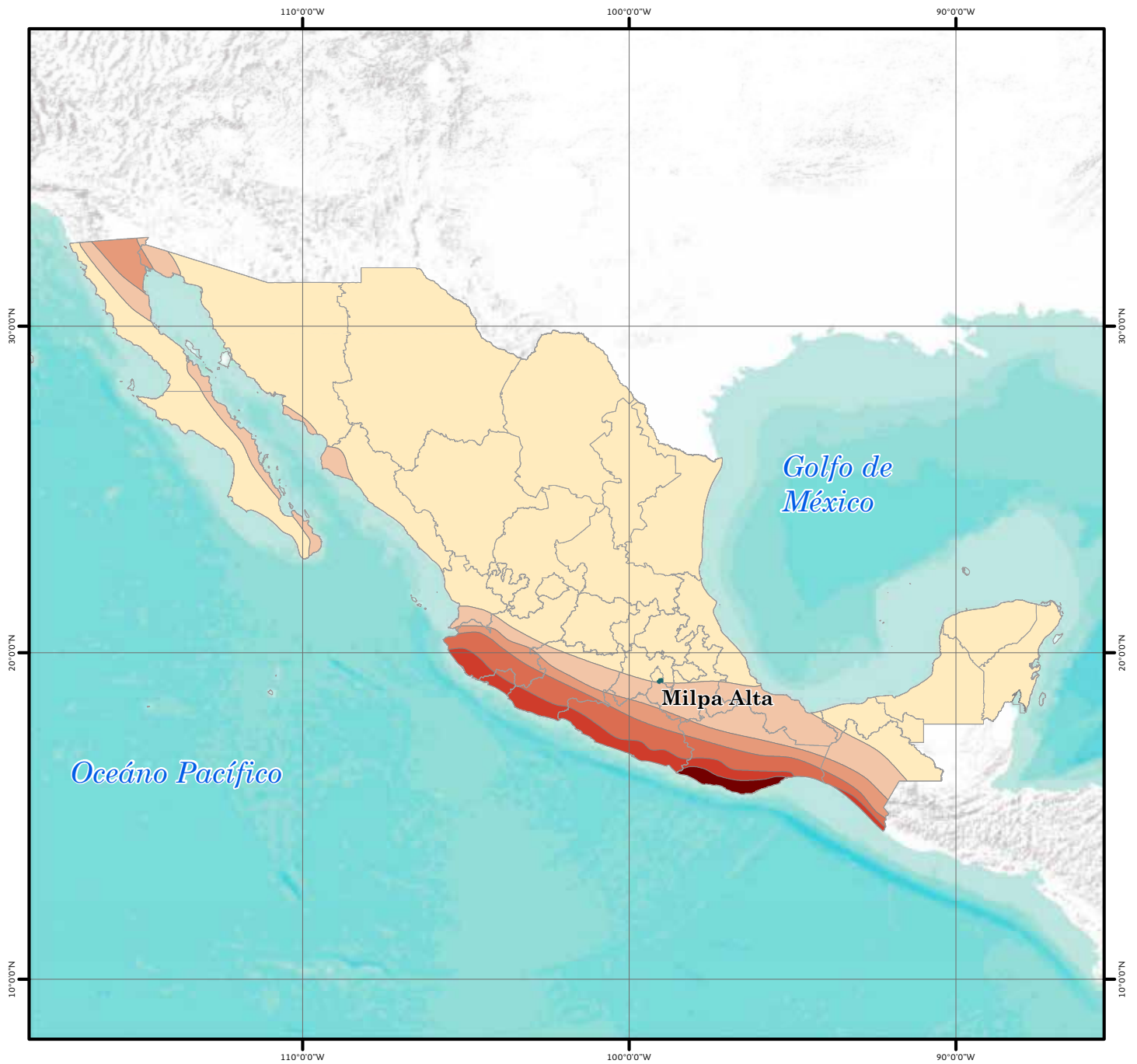
Escala 1:140,000
 0 0.5 1 2 3 km

Fuentes:
 Marco Geostatístico Ciudad de México, INEGI 2018.
 Servicio Sismológico Nacional, SSN 2018.
 World Terrain Base.

Periodos de retorno

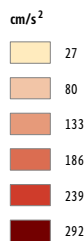
Los periodos de retorno se definen como la probabilidad de ocurrencia de sismos (número de eventos por unidad de tiempo) que pueden afectar la zona de estudio. Para evaluar el peligro sísmico se realiza un análisis de aceleraciones máximas del subsuelo al ubicar la delegación Milpa Alta en los diferentes mapas de aceleraciones del Atlas de riesgo del CENAPRED (2018) correspondientes a los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años.

En la delegación Milpa Alta predomina la intensidad media; las aceleraciones máximas van de 14.33 a 16.2 cm/s^2 , 43.55 a 56.47 cm/s^2 y 118.44 a 127.15 cm/s^2 para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, respectivamente (Mapas de periodo de retorno de 10, 100 y 500 años para aceleraciones de 0.15 s).



SIMBOLOGÍA

PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS
PARA ACELERACIONES DE 0.15 SEGUNDOS



LÍMITES POLÍTICOS



MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA URBANA DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA, CIUDAD DE MÉXICO.



Año de elaboración: 2018
Datum: WGS84

COORDENADAS GEOGRÁFICAS
Gradícula: 10° 00' 00"
Unidades: grados

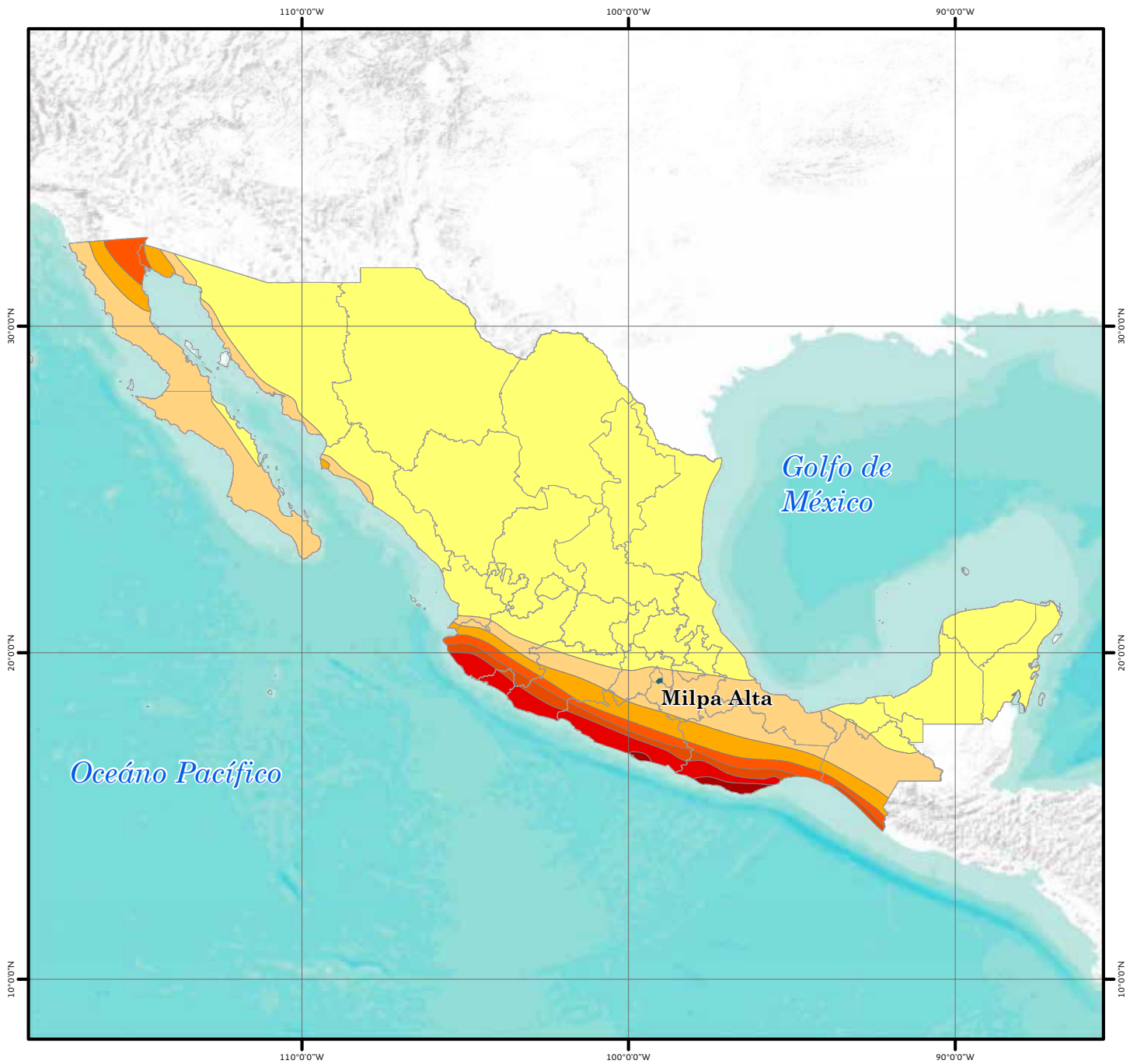
Asesor científico:
Dr. Raúl González Herrera
Responsable de proyecto:
Ing. Mariana Guadalupe Heredia Martínez

Elaboró:
Ing. Karen Michel
Gil Frausto

Escala 1:20,000,000
0 90 180 360 540
km

Fuentes:
Marco Geoesadístico Ciudad de México, INEGI 2018.
Periodo de retorno de 10 años para distintos periodos
estructurales CENAPRED, 2018.
World Terrain Base.

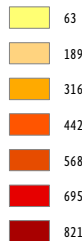
Mapa de periodo de retorno de 10 años
para aceleraciones de 0.15 s



SIMBOLOGÍA

PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS
PARA ACELERACIONES DE 0.15 SEGUNDOS

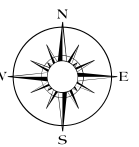
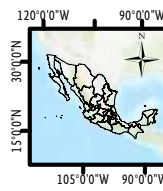
cm/s²



LÍMITES POLÍTICOS



MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA URBANA DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA, CIUDAD DE MÉXICO.



Año de elaboración: 2018
Datum: WGS84

COORDENADAS GEOGRÁFICAS

Gradícula: 10" 00' 00"

Unidades: grados

Asesor científico:

Dr. Raúl González Herrera

Responsable de proyecto:

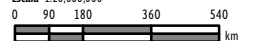
Ing. Mariana Guadalupe Heredia Martínez

Elaboró:

Ing. Karen Michel

Gil Frausto

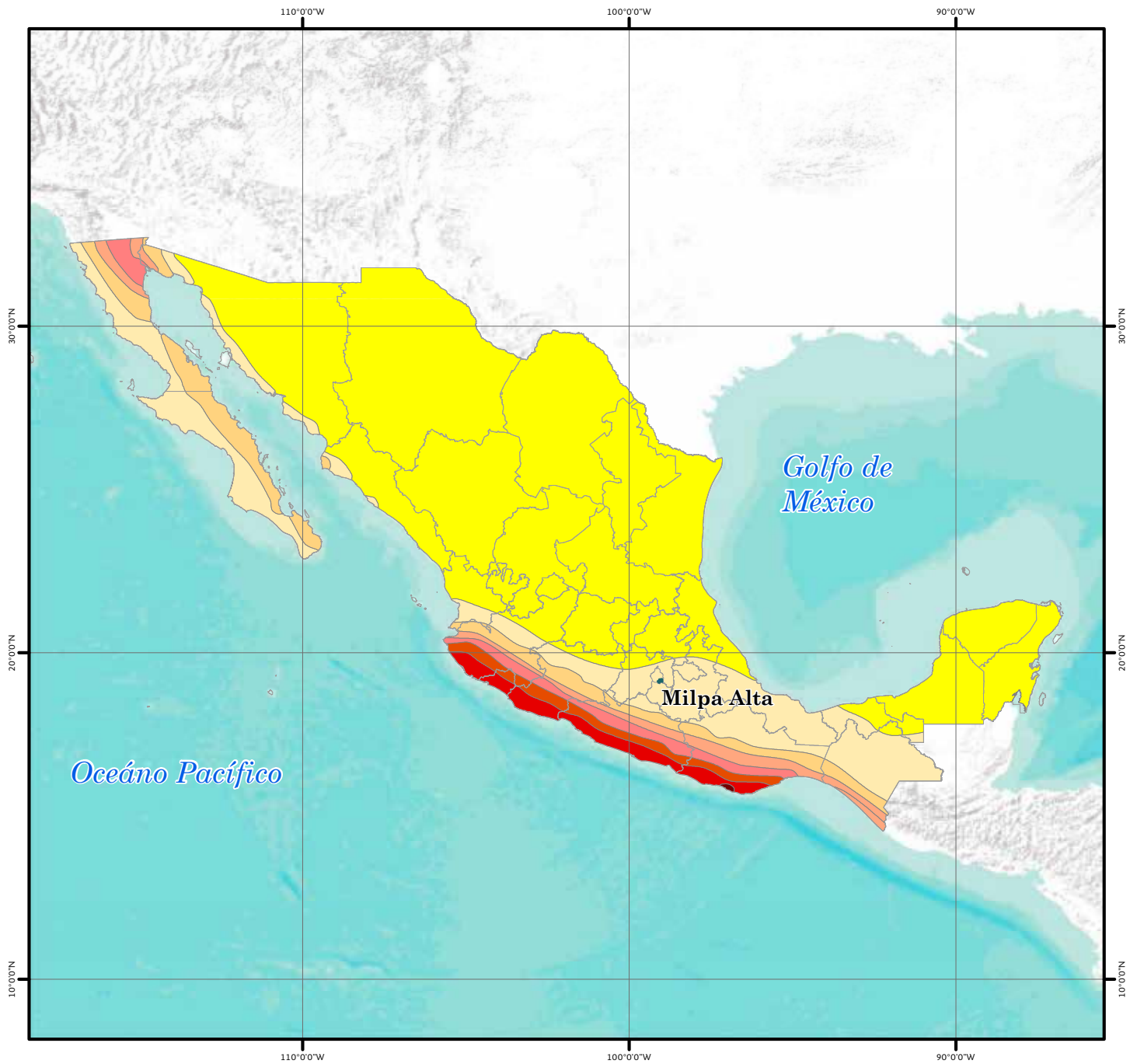
Escala 1:20,000,000



Fuentes:

Marco Geoesadístico Ciudad de México, INEGI 2018.
Periodo de retorno de 100 años para distintos periodos estructurales CENAPRED, 2018.
World Terrain Base.

Mapa de periodo de retorno de 100 años
para aceleraciones de 0.15 s



SIMBOLOGÍA

PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS
PARA ACELERACIONES DE 0.15 SEGUNDOS

cm/s ²	
105	941
314	1150
523	1359
732	1568

LÍMITES POLÍTICOS

- Límite Milpa Alta
- Límite estatal



MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA URBANA DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA, CIUDAD DE MÉXICO.



Año de elaboración: 2018
Datum: WGS84

COORDENADAS GEOGRÁFICAS
Gradícula: 10° 00' 00"
Unidades: grados

Asesor científico:
Dr. Raúl González Herrera
Responsable de proyecto:
Ing. Mariana Guadalupe Heredia Martínez

Elaboró:
Ing. Karen Michel
Gil Frausto

Escala 1:20,000,000
0 90 180 360 540
km

Fuentes:
Marco Geoesstadístico Ciudad de México, INEGI 2018.
Periodo de retorno de 500 años para distintos periodos
estructurales CENAPRED, 2018.
World Terrain Base.

Mapa de periodo de retorno de 500 años
para aceleraciones de 0.15 s

Aceleración máxima

La aceleración del subsuelo, indica el movimiento del terreno medido en un sitio durante la presencia de un sismo, ocurre segundos después de la propagación del sismo. Las aceleraciones en la Ciudad de México (CDMX) son un caso especial debido a los suelos sedimentarios y capas de arcilla. En la demarcación los valores de espesor se encuentran entre los 10 y 20 m para las zonas delimitadas de loma y transición. Lo anterior muestra un comportamiento dinámico diferente para cada suelo. La zona geotécnica que domina en la demarcación es la zona de lomas, la cual presenta suelos de alta resistencia y son poco compresibles, la amplificación de las ondas sísmicas es reducida y los movimientos son de poca duración, sin embargo, la parte Noreste de la demarcación podría presentar suelos de transición.

Se calcularon acelerogramas sintéticos con el software PRODISIS (Manual de diseño de Obras Civiles Diseño por Sismo de la Comisión Federal de Electricidad, 2008). Los acelerogramas generados son una aproximación del movimiento de terreno utilizando ruido blanco. Para generar los acelerogramas se propuso una profundidad de estrato (H) para la zona de Loma y Zona de transición calculados de acuerdo con el periodo fundamental dominante en cada zona, además de usar una Velocidad de onda S (Vs) de 100 m/s que es el valor promedio de los suelos arcillosos en la Ciudad de México (Auvinet, 2016). Tabla 2.

Los acelerogramas sintéticos generados para Milpa Alta muestran valores máximos para la zona de Loma de 95 cm/s² Figura 1.1 y para la zona de transición de 115 cm/s² Figura 1.2

ZONA	Vs (m/s)	H
Loma	100	10
Transición	100	20

Tabla 2. Modelo de velocidades propuestos.

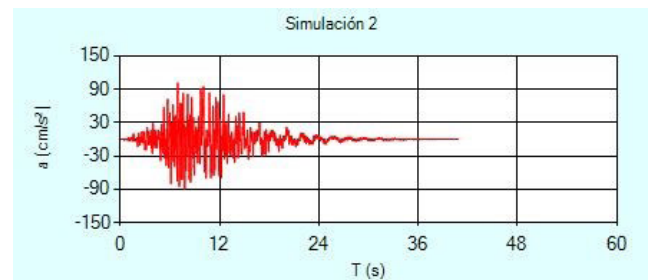


Figura 1.1. Acelerograma sintético para zona de valle.

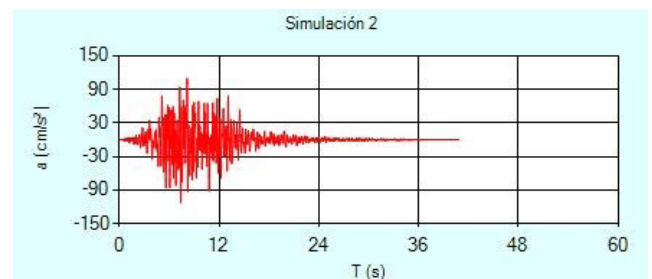


Figura 1.2. Acelerograma sintético para zona de transición.

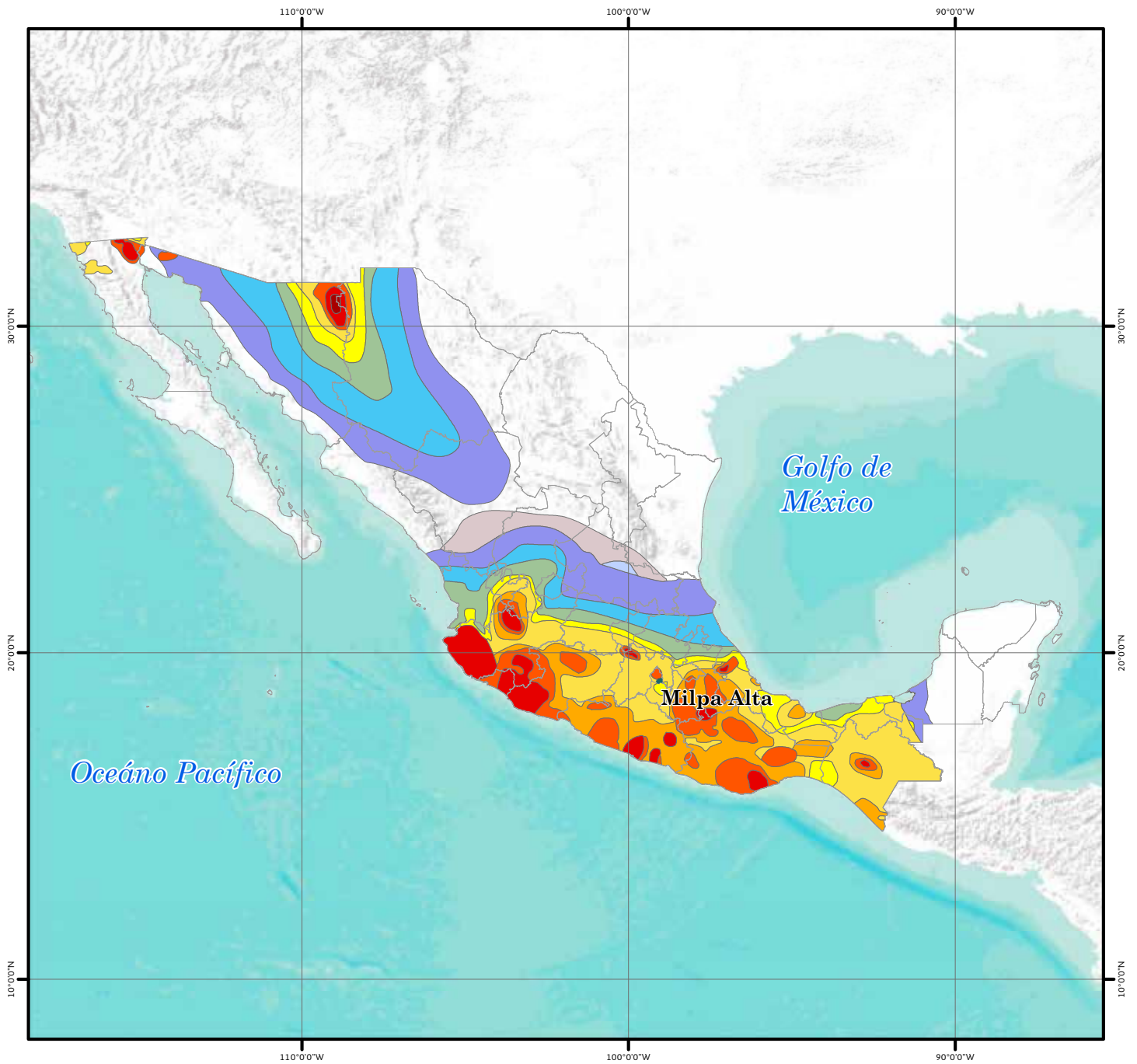
Intensidad sísmica

La intensidad sísmica es una medida no instrumental de los efectos que causa el movimiento del suelo en personas u objetos. Se generan intensidades sísmicas a partir de cualquier evento sísmico, sin embargo, el conjunto de todos estos determina una intensidad sísmica global. La finalidad de ubicarlos además del marco histórico es entender y cuantificar de mejor la amenaza sísmica, considerando la sismicidad y las características de las fuentes sismogénicas. Se trabajó a partir de la escala modificada de Mercalli, que consta de 12 niveles (Servicio Geológico Nacional, 2017).

Las intensidades globales que se han presentado en la demarcación son:












- V. Algunas piezas de vajillas, vidrios de ventanas, etcétera, se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen relojes de péndulo (SGN, 2017).
- VI. Algunos muebles pesados cambian de sitio; pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros (SGN, 2017).
- VII. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o mal planeadas; ruptura de algunas chimeneas (SGN, 2017). Ver Mapa de intensidad global.

Estas intensidades sísmicas se presentaron en el sismo del 19 de septiembre 2017 (USGS, 2017).



SIMBOLOGÍA

GLOBAL DE INTENSIDADES

Intensidades de Mercalli	
	I
	II
	III
	IV
	V
	VI
	VII
	VIII
	IX
	X
	XI

LÍMITES POLÍTICOS

	Límite Milpa Alta
	Límite estatal



MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA URBANA DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA, CIUDAD DE MÉXICO.



Año de elaboración: 2018
Datum: WGS84

COORDENADAS GEOGRÁFICAS
Gradícula: 10" 00' 00"
Unidades: grados

Asesor científico:
Dr. Raúl González Herrera
Responsable de proyecto:
Ing. Mariana Guadalupe Heredia Martínez

Elaboró:
Ing. Karen Michel
Gil Frausto

Escala 1:20,000,000
0 90 180 360 540 km

Fuentes:
Marco Geoestadístico Ciudad de México, INEGI 2018.
Global de Intensidades, CENAPRED, 2018.
World Terrain Base.

Mapa de
intensidad global

La importancia de la mitigación del riesgo sísmico se ha convertido en una prioridad en ciudades como la Ciudad de México ya que al estar sujeta a una alta actividad sísmica y los grandes espesores de sedimentos blancos de los extintos antiguos lagos que yacían sobre la cuenca de México, provocan grandes amplificaciones de las ondas sísmicas.

2.1 Objetivo del estudio

El objetivo de este estudio es generar una microzonificación del área de estudio en función del periodo de suelo (T_s) dentro de la zona urbana en delegación Milpa Alta, Ciudad de México.

2.2 Información recopilada (antecedentes)

A continuación, se enlistan los documentos recopilados y utilizados para la realización de este informe:

- Carta Geológica-Minera E14-2, escala 1: 250,000 del Servicio Geológico Mexicano (SGM).
- MOOSER (1974) “Mapa Geológico de la Cuenca de México y Zonas Circundantes”. Dirección general de obras hidráulicas.
- Carta Topográfica escala 1:250,000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el pasado diciembre 2017. (RCDF).
- Normas Técnicas del Reglamento de Construcciones para la Ciudad de México, publicado en la Gaceta Oficial el 15 de diciembre 2017 (NTC del RCDF).
- NTC-DS (2017). “Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo”. Gaceta Oficial de la Ciudad de México del 17 de octubre de 2017.

3 DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS DEL SITIO

3.1 Localización del sitio en estudio

Milpa Alta ocupa una superficie de 8,534.62 ha, equivalentes al 5.75% del territorio del Distrito Federal, ubicado al suroriente, colindando al norte y noreste con la Delegación de Iztapalapa, desde la Autopista México-Puebla por el parteaguas de la Sierra Santa Catarina hasta el Canal de Chalco; al oriente con el Municipio Valle de Chalco Solidaridad, Estado de México; al sur con la Delegación Milpa Alta, hasta el vértice del Volcán Teuhtli y al suroeste y oeste con la Delegación Xochimilco. Las coordenadas geográficas que limitan el área son: norte $19^{\circ} 20'$; sur $19^{\circ} 12'$ de latitud, este $98^{\circ} 56'$ y al oeste $99^{\circ} 04'$ de longitud (Figura 3.1).

Las principales elevaciones que se encuentran dentro del territorio delegacional son: Volcán Guadalupe, Volcán Xaltepec, Cerro Tecuautzi y Cerro Tetecón, en la Sierra de Santa Catarina y el Volcán Teuhtli al sur.

De acuerdo con el Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Milpa Alta (2013), ésta forma parte del Segundo Contorno

del Distrito Federal, conjuntamente con las Delegaciones de Xochimilco, Tlalpan y Magdalena Contreras. Este contorno se caracteriza por que su proceso de urbanización se ha manifestado de manera dispersa y desarticulada, en algunos casos dentro de la zona de protección ecológica, lo que se ha traducido en un fuerte deterioro ambiental.

Por su ubicación la delegación es objeto de fuertes presiones a la urbanización. Sin embargo, algunos de estos asentamientos se localizan en zonas no aptas para el crecimiento urbano.



Figura 3.1. Localización de la delegación Milpa Alta.

3.2 Entorno geológico general

La Ciudad de México está situada en una planicie lacustre en la cuenca de México, la cual cubre un área aproximada de 9,600 kilómetros cuadrados, situada a 2,250 msnm, en el extremo sur de la Mesa Central. La cuenca de México tiene un contorno irregular, alargado de norte a sur, de aproximadamente 125 Km de largo y 75 Km de ancho. Al norte está limitada por la sierra de Pachuca, Tepotzotlán, Guadalupe, Patlachique y Tepozán. Al sur está limitada por la Sierra de Chichinautzin, al este por la Sierra Nevada, con sus picos Ixtacihuatl y Popocatepetl. Al oeste la cuenca está limitada por la Sierra de Monte Alto y de las Cruces.

La cuenca fue cerrada hace unos 700,000 años, con la formación de la sierra de Chichinautzinque obstruyó el drenaje hacia el Río Balsas. Esta condición de cuenca cerrada, originó la formación de varios lagos y ríos que descendían de las sierras circundantes, depositando en potentes conos de deyección, materiales diversos. La zona central se llenó con sedimentos compuestos por limos-arenosos, limos-arcillosos y emisiones de cenizas y pómez provenientes de los volcanes del sur. Mientras tanto, al pie de las sierras se originaron grandes depósitos aluviales de composición muy variable y estratificación cruzada o lenticular.

La geología de la Cuenca está compuesta básicamente por dos partes; la primera se

encuentra en las zonas topográficamente altas y consta de una amplia variedad de rocas volcánicas, la segunda en las partes bajas y de planicie consta de sedimentos de origen lacustre y depósitos vulcanoclásticos (Figura 3.2). La historia geológica comprende eventos tectónicos y actividad volcánica que probablemente se iniciaron durante el Paleoceno-Eoceno (Enciso-De la Vega, 1992) y se desarrollaron a través de diferentes períodos de actividad, desde el Oligoceno al Mioceno temprano, hasta la depositación de piroclásticos y derrames lávicos del Mioceno medio-tardío al Plioceno-Cuaternario (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989). Los principales eventos pliocénicos-cuaternarios comprenden volcanes prominentes y sus productos; los eventos cuaternarios incluyen, principalmente, depósitos lacustres y actividad volcánica de composición andésitico-basáltica, así como la actividad neotectónica del presente (Enciso-De la Vega, 1992). Las rocas más antiguas que se han reconocido en la cuenca yacen sepultadas a más de 2,000 m de profundidad y han sido consideradas como del Albiano-Cenomaniano (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989).

De forma general y tomando como base la geología descrita por Vázquez-Sánchez, y Jaimes-Palomera (1989), los eventos geológicos más relevantes de la evolución geológica de la Cuenca de México, desde el Cretácico, son la sedimentación calcárea que prevaleció del Aptiano al Turoniano Tardío y que cambió a tipo flysh entre el Conaciano y Campaniano Temprano,

posteriormente del Maestrichtiano al Eoceno Temprano, debido a la Orogenia Laramide las secuencias se plegaron y en el Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano ocurrió un fallamiento normal con desplazamiento lateral derecho, contemporáneo con sedimentación continental tipo molasa y con efusiones fisurales basálticas alcalinas, además de los eventos volcánicos antes mencionados, que se asocian genéticamente con el AVT y con fallas normales del Plio-Cuaternario. El régimen endorreico de la Cuenca de México y la consecuente sedimentación lacustre del Pleistoceno-Holoceno se originaron como consecuencia del intenso volcanismo que edificó la Sierra Chichinautzin.

Se presenta a continuación una descripción estratigráfica, conforme la geología de la Cuenca de México detallada por Vázquez-Sánchez y James-Palomera (1989) y la estratigrafía propuesta por Enciso-De la Vega (1992), quien entre otras consideraciones propuso cambiar el rango del Grupo Pachuca al de Supergrupo Pachuca, lo que para fines prácticos de descripción resulta más conveniente.

Así mismo dado que en el actual Código Estratigráfico Internacional (ICS, 2009), el período Terciario no está reconocido, se usan los períodos correspondientes a dicha edad, es decir, el Paleógeno y Neógeno de la era Cenozoica.

Período del Cretácico

Formación Xochicalco (Kx): es la unidad más antigua reconocida y se le ha asignado

un espesor mínimo que excede los 500 m. Constituye una secuencia de capas delgadas a medias de calizas, principalmente calcilutíticas y calcilimolíticas, que presentan laminación fina, contenido carbonoso variable y abundantes vetillas de calcita. Se depositó durante el Aptiano en ambientes marinos de cuenca relativamente profunda.

Formación Morelos (Km): aflora al sur de la Sierra Chichinautzin, su espesor máximo de 900 metros se adelgaza al oriente y poniente. Constituye una interestratificación de capas gruesas de calizas y dolomías diagenéticas, concordantes a anhidritas laminares subyacentes y fue depositada durante el Albiano Medio-Cenomaniano Temprano, en una extensa plataforma marina.

Formación Doctor (Kid): consta de facies calcáreas de banco y de cuenca del Albiano Medio-Cenomaniano Temprano, las cuales forman una secuencia de 200 m de espesor, constituidas por calizas mudstone en capas delgadas e intercalaciones de lutitas.

Formación Cuautla (Kc): consta de facies de cuenca, de banco y de litoral del Cenomaniano Tardío al Turoniano Tardío, con espesores que varían entre 200 y 750 m, se conforma por calizas principalmente calcarenitas de estratificación gruesa. De acuerdo con los sondeos de sismica de reflexión (Pérez-Cruz, 1988), la cima de esta unidad y de la Formación Morelos se encuentra ampliamente distribuida en el subsuelo del sector meridional de la Cuenca

de México. Las diferencias en altitud de la Formación Cuautla pueden ser atribuidas al desplazamiento de las fallas del Paleógeno-Neógeno y Cuaternario y/o al peso litoestático de las rocas del Cenozoico.

Formación Mexcala (Kmx): aflora al sur de la Sierra Chichinautzin y en el cerro La Palma al noreste de la Cuenca. El espesor máximo es de 1500 m y constituye una interstratificación gradual rítmica de grauvacas (turbiditas), limolitas y lutitas. Se depositó en aguas someras durante el Coniaciano-Campaniano y representa una secuencia Flysch.

Período del Paleógeno-Neógeno

Grupo Balsas (Teob): consiste en depósitos continentales del Eoceno Tardío al Oligoceno Temprano. Consta de un conglomerado oligomítico calizo generalmente compacto y de estratificación masiva que se interdigita con una secuencia de capas deleznable de arcilla, limo y arena. Localmente estos depósitos clásticos contienen interstratificaciones lenticulares de yeso y caliza lacustre, además de derrames lávicos basálticos e intercalaciones de toba riolítica en la parte superior. La distribución espacial y temporal del Grupo Balsas representa una molasa continental post-orogénica Laramide, la cual se acumuló simultáneamente con fallamiento normal lateral derecho y vulcanismo basáltico probablemente fisural.

Supergrupo Pachuca: designa a todas las rocas volcánicas y volcanoclásticas que

yacen concordante o discordantemente sobre depósitos clásticos continentales del Paleógeno-Neógeno inferior o discordantemente sobre rocas más antiguas, y que están cubiertas por rocas pliocénicas continentales. Se incluyen en éste, las rocas volcánicas terciarias cartografiadas por Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera (1989), que son: las rocas volcánicas del Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano (Tomv), mismas que contienen capas de clásticos aluviales; las rocas extrusivas del Mioceno Medio y Tardío (Tmv), que representan el inicio de la actividad magmática del AVT; y los depósitos equivalentes al Grupo Pachuca (Tomp). En general, se considera que la edad del Supergrupo Pachuca abarca del Oligoceno tardío al Plioceno temprano.

Grupo Anáhuac: agrupa a todas las rocas lávicas y piroclásticas que estratigráficamente yacen sobre las rocas del Supergrupo Pachuca y que son cronológicamente anteriores al Grupo Taranguense. Se incluye en el grupo las unidades descritas por Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera (1989), como: depósitos volcánicos del Plioceno Temprano (Tpv), correspondientes a un segundo período magmático del AVT; la Formación Otomí (Tpo), que se encuentra caracterizada por estar formada principalmente por depósitos piroclásticos que se presentan como flujos lobulados; rocas volcánicas máficas del Plioceno Tardío (Tpb), unidad que consta de derrames de lava interstratificados con capas de brechas volcánicas y/o piroclásticos; la Formación Las Cruces

(Tpc), que son depósitos piroclásticos cubiertos por cenizas vítreas y en algunos casos interestratificados con material aluvial y paleocanales fluviales, correspondientes al plioceno tardío, que se distribuyen al suroccidente de la Cuenca y son el conjunto de tres estratovolcanes alineados en una dirección que es casi la norte-sur; la Formación Zempoala (Tpz), que es una secuencia de lavas andesíticas al norte y brechas volcánicas al sur de la porción suroccidental de la Cuenca y posiblemente contemporánea del volcanismo de la Formación de las Cruces; y finalmente se puede incluir en este grupo la porción estratigráfica correspondiente a la Riolita Navajas (Tpn), que es una secuencia riolítica del Plioceno Tardío. En general, la edad del Grupo Anáhuac, definido por Enciso-De la Vega (1992), es del Plioceno.

Período del Cuaternario

Grupo Taranguense: designa a todas las rocas posteriores en edad al Grupo Anáhuac y anteriores a las Formaciones Popocatepetl y Chichinautzin. Este grupo abarca, de Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera (1989), a las formaciones: Llano Grande (Qllg), que corresponde a las secuencias eruptivas de composición variable de andesítica a riolítica de edad del Pleistoceno Temprano; El Pino (Qpp), de edad entre 0.9 y 0.7 Ma, que agrupa a las rocas volcánicas, principalmente máficas que forman los cerros La Estrella, El Pino, Chimalhuacán, Chiconautla, Gordo y otros aislados, así como los campos volcánicos de Tezontepec-Otumba. Así mismo, se

incluyen formaciones definidas por otros autores pero también descritas por Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera (1989), y son: la Formación Tláloc (Qt), de entre 0.6 y 0.7 Ma de edad, cuyas efusiones lávicas son andesitas y dacitas de anfíbol, y consta de varias sucesiones que implican una erupción pliniana; la Formación Iztaccíhuatl (Qi), que está constituida por varias secuencias principalmente efusivas, cuya composición varía de andesita basáltica a dacítica y que fueron extruídas en distintos períodos eruptivos dentro del intervalo de 0.6 a 0.08 Ma. Así mismo, cabe mencionar el hecho de que Enciso-De la Vega (1992), incluye dentro de este grupo a la Formación Tarango, definida por Bryan (1948), y que es una unidad estratigráfica que ha sido ampliamente utilizada por investigadores como Arellano (1953), Mooser *et al.* (1974) y De Cserna *et al.* (1988), no obstante, en el trabajo de Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera (1989), se propone el abandono de dicha unidad, ya que se definió sin cartografiar y dichos depósitos corresponden a la Formación Las Cruces.

Formación Popocatepetl (Qp): Conformada por cuatro principales secuencias eruptivas. El espesor total se desconoce, pero con base en las altitudes de los afloramientos, se le infiere un espesor máximo del orden de 3,500 m. Cubre discordantemente la porción meridional de la Formación Iztaccíhuatl y probablemente se interdigita hacia el poniente con la Formación Chichinautzin, ya que son contemporáneos; igualmente se interdigita con clastos fluviales hacia las llanuras aluviales de

Cuautla y Amecameca. Se le asigna una edad del Pleistoceno Tardío-Holoceno.

Formación Chichinautzin (Qc):

corresponde a todo el vulcanismo monogenético principalmente estromboliano, con características y edad similares, en la región de la Cuenca de México. Las lavas de esta unidad en general son muy extensas, vesiculares, masivas o lajadas y son los productos volcánicos más abundantes de esta unidad. La cual cubre discordantemente casi todas las unidades cretácicas y del Paleógeno-Neógeno, y se encuentra, además, interdigitada con depósitos lacustres y aluvión. El espesor máximo que se le ha asignado es de 1,800 m, y una edad que comprende la parte más tardía del Pleistoceno y el Holoceno.

Depósitos aluviales (Qal): las zonas norte y sur incluyen material poco consolidado, compuesto por fragmentos de tamaño: grava, arena, limo y arcilla, conteniendo localmente marga, tierra diatomácea, turba, loess y travertino. Los espesores máximos, de alrededor de 500 m, se encuentran en el centro de las depresiones y se adelgazan hacia las márgenes de la llanura. Se encuentran discordantemente sobre los depósitos piroclásticos y clásticos del Plioceno; y se interdigita con las formaciones volcánicas cuaternarias. Su contacto concordante e interdigitado son los sedimentos lacustres (Qla). Se le asigna una edad del Pleistoceno al Holoceno.

La acumulación de grandes espesores de aluvión se puede explicar debido a

un bloqueo del desagüe, causado por el emplazamiento de derrames lávicos y/o por el fallamiento normal del Cuaternario que favorecieron los cambios de la velocidad y dirección de los cauces fluviales, con la consecuente distinta distribución del tamaño de grano en estos depósitos.

Depósitos lacustres (Qla): agrupa los sedimentos clásticos y productos piroclásticos relacionados con la actividad volcánica del Popocatepetl y de la Sierra Chichinautzin, los cuales se depositaron en ambiente lacustre. Estos depósitos forman una gran altiplanicie lacustre, extendida con una altitud promedio de 2,200 m, desde Zumpango hasta Chalco y desde Texcoco hasta el Cerro de Chapultepec. Los espesores varían entre 30 y 300 m, los mayores se presentan en los centros de las planicies de la Ciudad de México, Texcoco y Chalco y disminuyen hacia las márgenes de las planicies. Se describen arcillas bentoníticas y montmorilloníticas, con carbonato de calcio, diatomeas, ostrácodos e interestratificaciones de ceniza y pómez. Se le asigna una edad del Pleistoceno Tardío al Holoceno.

El origen de los depósitos lacustres está íntimamente relacionado con la obstrucción definitiva del desagüe de la Cuenca de México, causado por la intensa actividad volcánica que edificó la Sierra Chichinautzin.

La mayor parte de la zona urbanizada de la Cuenca de México está edificada sobre dichos depósitos lacustres, mientras que el

resto, sobre el material aluvial que forma la zona de transición entre los depósitos lacustres y lo que propiamente constituye el basamento para el relleno (De Cserna *et al.*, 1988).

3.1.1 Entorno geológico particular

La litología del territorio delegacional corresponde principalmente al periodo cuaternario (96%) aunque también existen rocas del neógeno (4%). Las rocas que

predominan en la demarcación son ígneas extrusivas de tipo: basalto, basalto-brecha volcánica básica, brecha volcánica básica, toba básica, andesita y toba básica-brecha volcánica básica; además de suelo de tipo lacustre y aluvial (INEGI, 2009).

En el Mapa geológico (Figura 3.1.1) la brecha volcánica básica se ubica en las partes altas de los conos de escoria, la toba básica y toba básica-brecha volcánica básica tienen una distribución heterogénea, y los suelos aluviales se encuentran ubicado al noreste de la delegación en los límites con la delegación Tláhuac mientras las

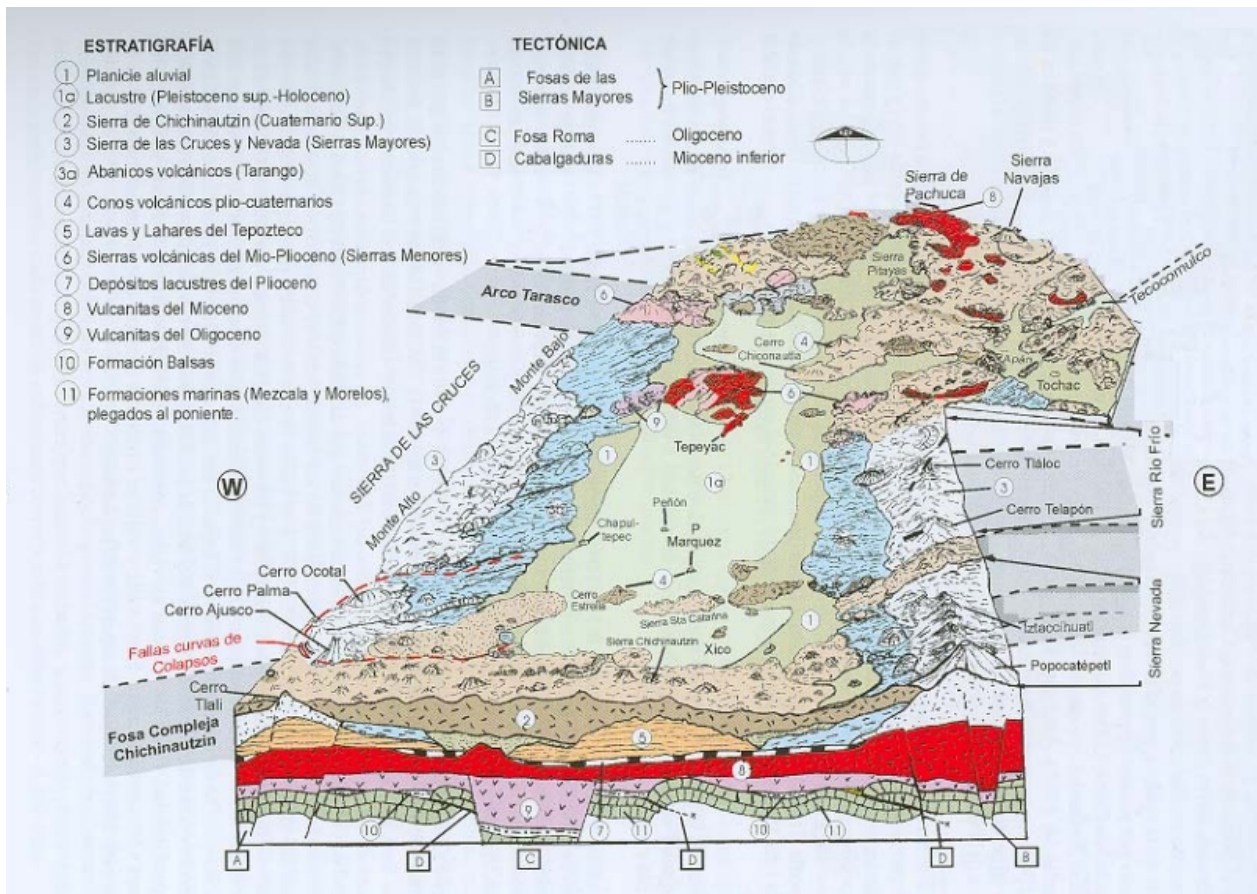


Figura 3.2 Geología y morfología de la Cuenca de México (Mooser, 2000).

rocas del neógeno se localizan al norte de la demarcación, en localidades como San Antonio Tecómitl, El Zapote y San Isidro Coatepec.

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Delegacional Urbano de Milpa Alta (PDDU, 2011), algunos rasgos geológicos

estructurales identificados en la delegación son las coladas de basalto con evidencias de fracturamiento y una falla regional que afecta la zona entre las localidades de San Antonio Tecómitl y la Conchita- Emiliano Zapata.

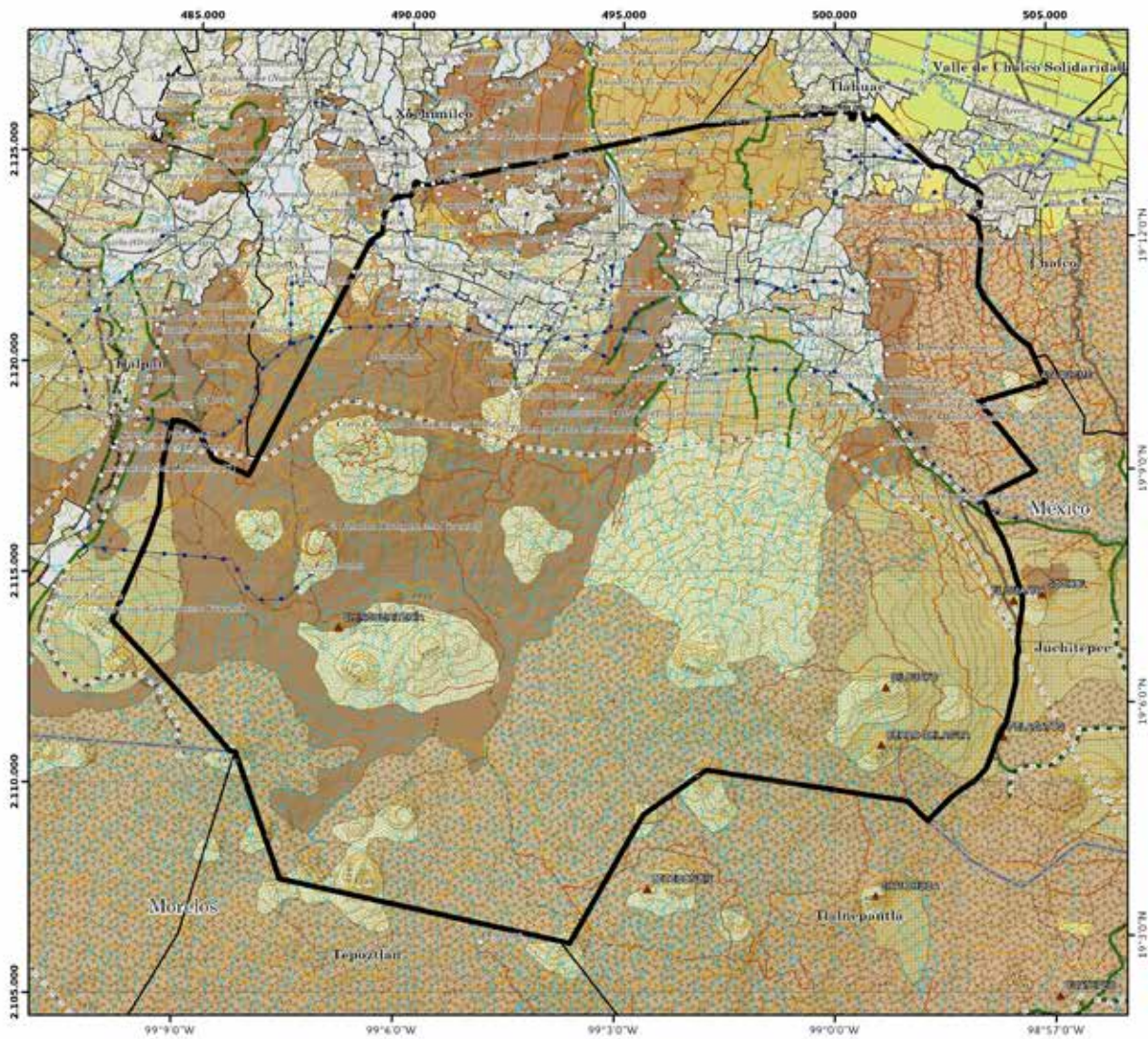


Figura 3.1.1. Geología particular de la demarcación.

Cuencas y subcuencas

Milpa Alta pertenece a dos regiones hidrológicas de las cuales la mayor área de captación hídrica en el territorio corresponde a la región del Pánuco, cuenca Río Moctezuma (65%), y el resto a la región del Balsas (35%), cuenca del Río Grande de Amacuzac, subcuenca Río Yautepec (INEGI, 2011).

La región hidrográfica del Pánuco tiene un área de 96,989 km², la precipitación normal es de 855 mm y tiene un escurrimiento natural medio superficial total de 20,224 hm³/año. La cuenca está integrada por 77 cuencas (entre ellas la del Río Moctezuma) distribuidas en los estados de San Luis Potosí, Tamaulipas, Guanajuato, Querétaro, Veracruz, Hidalgo, Estado de México, Tlaxcala, Veracruz y Distrito Federal. Por su parte, la región hidrográfica del Balsas abarca 118,268 km² con una precipitación normal de 947 mm y 26,798 hm³ de escurrimiento natural medio superficial por año. La región del Balsas comprende parcial o totalmente los estados de Morelos, Tlaxcala, Puebla, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Estado de México y Jalisco (CNA, 2010).

3.1.2 Zonificación geotécnica de la Ciudad de México

La zonificación geotécnica de la Ciudad de México elaborada por Marsal y Mazari (1959), se hizo atendiendo principalmente a las propiedades de los materiales que se encontraron en sondeos perforados a una profundidad de 50 m o menor y en varios puntos de hasta 100 m. a partir de ahí fueron definidas tres principales zonas: la zona de Lomas, la zona de Transición y la zona de Lago. Sin embargo, con el actual crecimiento de la ciudad esta zonificación también ha evolucionado de forma más detallada, la Figura 3.1.2.1 muestra la zonificación de COVITUR (Tamez *et al.*, 1987), tomada de Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México (Santoyo *et al.*, 2005).

Zona de lomas (Zona I). Esta zona presenta condiciones irregulares de compacidad y cementación lo que incide directamente en la estabilidad de excavaciones y propicia el desarrollo de mecanismos de falla. No obstante, posee una elevada capacidad de carga, condición favorable para la cimentación de estructuras, ya que está caracterizada principalmente por materiales volcánicos, tales como tobas,

lahares y depósitos de arenas pumíticas en estado compacto. No existen capas de arcilla compresibles que puedan ser causa de hundimientos diferenciales de gran magnitud. Sin embargo, debido a la explotación de minas de arena y grava, muchos predios están cruzados por galerías de desarrollo irregular a diferentes profundidades. Una particularidad de esta zona consiste en la existencia de depósitos eólicos de arena fina y uniforme, hacia el Norte de la Ciudad, concretamente en las laderas de la Sierra de Guadalupe, los cuales son susceptibles de provocar hundimientos diferenciales erráticos (Santoyo *et al.*, 2005).

Zona de transición (Zona II). Se presenta con los depósitos que forman una franja entre los suelos lacustres y las sierras que rodean la Cuenca de México. La frontera entre la Zona de Transición y la Zona de Lago se define a partir de los sitios donde desaparece la Serie Arcillosa Inferior y en los cuales la primera Capa Dura está aproximadamente a 20 m de profundidad con respecto al nivel medio de la planicie. En función de su cercanía con la Zona de Lomas y del espesor de suelos relativamente blandos, esta subdividida como:

- Transición Alta (TAL): Es la más próxima a la Zona de Lomas y presenta irregularidades estratigráficas debido

a la presencia de depósitos aluviales cruzados.

- Transición Baja (TBA): Colinda con la Zona de Lago y en ella la serie arcillosa superior tiene intercalaciones de estratos limo-arenosos de origen aluvial debido a los eventos de regresión lacustre.
- Transición Abrupta (TAB): Es la transición entre las zonas del Lago y los cerros aislados como el Peñón de los Baños. En este caso las arcillas lacustres están intercaladas con numerosos lentes de materiales erosionados de los cerros.

Zona de Lago (Zona III). Se caracteriza porque en ella las arcillas blandas tienen grandes espesores. En base al espesor y propiedades de la costra superficial, así como la consolidación inducida en cada sitio, se subdivide en:

- Lago Virgen (LV): Corresponde a la zona en la que se encuentran las arcillas más blandas, lo que ahora es el vaso del ex lago de Texcoco. Aunque se advierte el incremento de sobrecargas en la superficie, a consecuencia del actual desarrollo de dicha zona.
- Lago Centro I (LCI): Corresponde al sector no colonial de la ciudad. Las propiedades mecánicas del subsuelo en

esta zona representan una condición intermedia.

- Lago Centro II (LCII): En esta zona la historia de cargas aplicadas en superficie ha sido muy variable, por lo que se presentan las siguientes condiciones extremas; arcillas fuertemente consolidadas por rellenos y grandes sobrecargas de construcciones aztecas y

coloniales; arcillas blandas, asociadas a lugares que han alojado plazas y jardines durante largos períodos de tiempo; y arcillas muy blandas en los cruces de antiguos canales. Asimismo, el intenso bombeo para surtir de agua a la ciudad se refleja en el aumento general de la resistencia de los estratos de arcilla por efecto de consolidación inducida (Santoyo *et al.*, 2005).

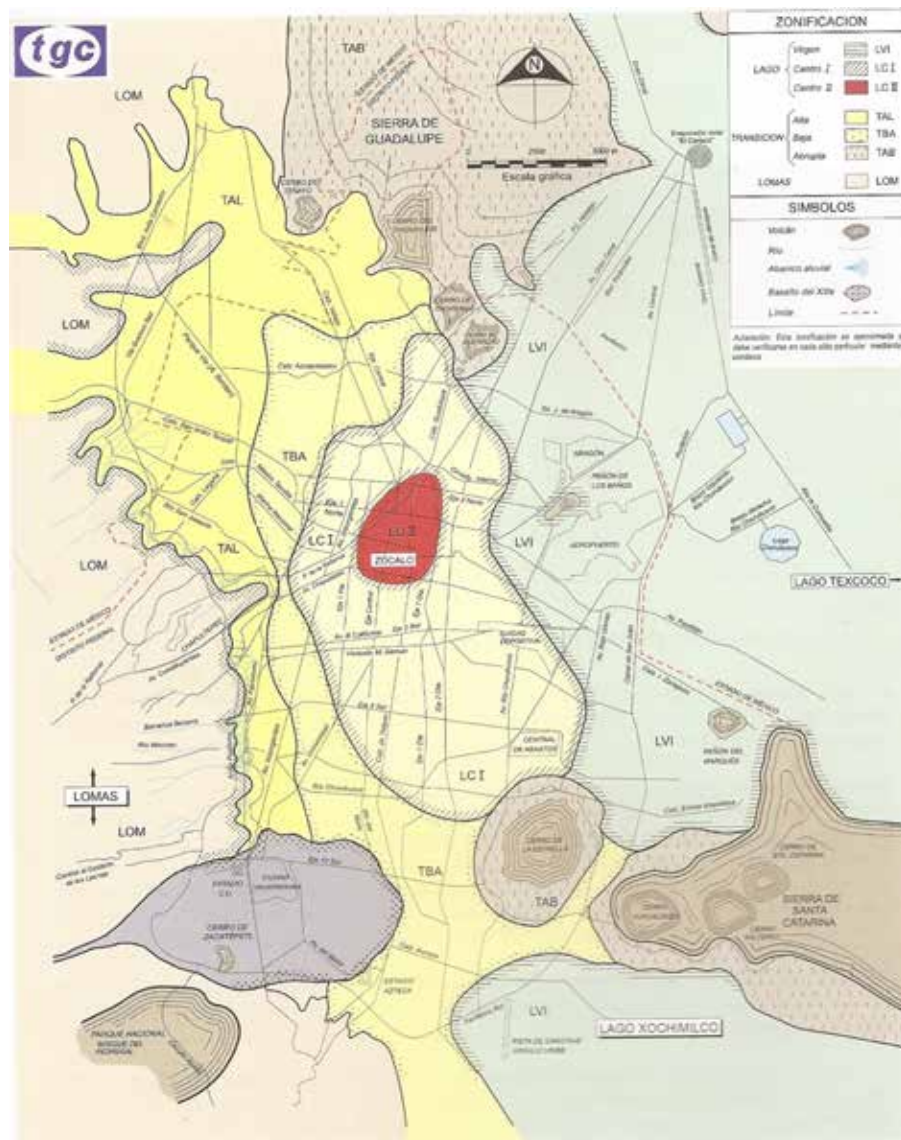
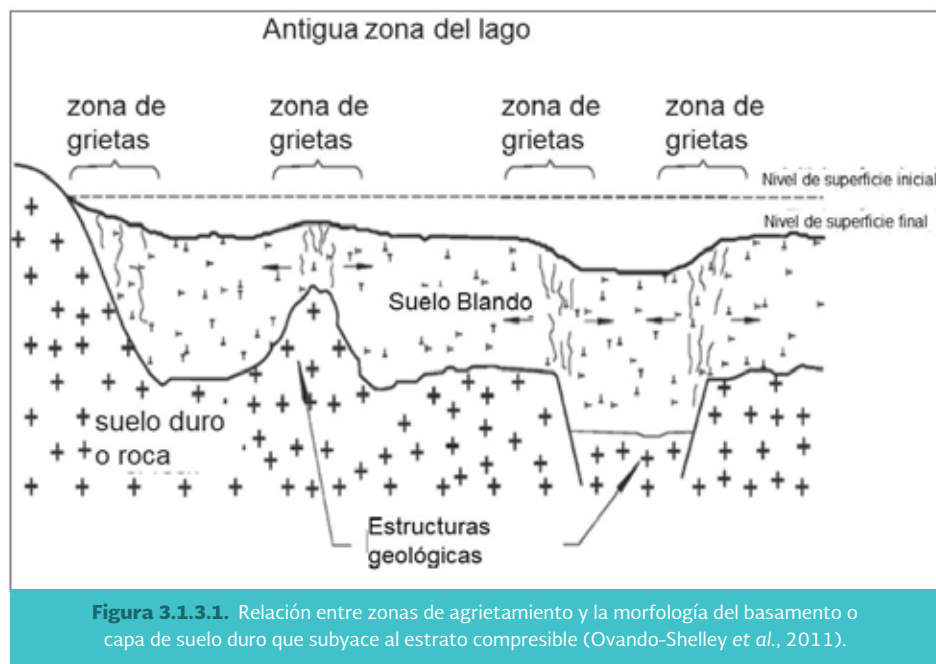


Figura 3.1.2.1. Zonificación geotécnica de la Ciudad de México COVITUR (Tamez *et al.*, 1987), tomada de Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México (Santoyo *et al.*, 2005).

3.1.3 Agrietamientos de suelos

Los sedimentos arcillosos son susceptibles a la subsidencia debido a que sus propiedades mecánicas están directamente relacionadas con el contenido de agua, mismo que para la Cuenca del Valle de México es mayor a 400% (Díaz-Rodríguez *et al.*, 1998). Así mismo la creciente demanda de agua debida al crecimiento de la zona urbana, ocasiona que en la zona montañosa se infiltre dos veces menos agua de la que se extrae y que en la porción plana los sedimentos arcillosos pierdan agua y se compacten. Esta compactación se traduce en hundimientos y agrietamientos del terreno, que varían de acuerdo con la intensidad de la extracción de agua y de las condiciones del subsuelo (Hernández *et al.*, 2006).

De manera general el agrietamiento se presenta en suelos donde existe una condición que incremente los esfuerzos de tensión. En la Cuenca del Valle de México el agrietamiento se asocia al problema de subsidencia del terreno, dado que el asentamiento diferencial producido por la consolidación de arcillas induce tensiones que originan agrietamientos (Figura 3.1.3.1). Tales agrietamientos se presentan principalmente en zonas de transición y también pueden estar asociados a la presencia de estructuras geológicas, en cuyo caso se favorece un agrietamiento alineado (Ovando-Shelley *et al.*, 2011).



También es posible la formación de grietas por fracturamiento hidráulico, mecanismo en el cual el agua puede penetrar dentro de pequeñas fisuras y la concentración de esfuerzos en la misma puede originar que ésta se propague, lo que se observa a principio de la estación lluviosa en la zona lacustre de la Cuenca (Ovando-Shelley *et al.*, 2011).

En el contexto de las grandes masas de suelos compresibles sometidos a un proceso de consolidación regional, como en la Ciudad de México, la distribución espacial de los períodos dominantes puede ser utilizada como un parámetro indicativo para el reconocimiento de zonas con potencial de agrietamiento (Ovando-Shelley *et al.*, 2011).

El problema del agrietamiento afecta diversas zonas del Distrito Federal. Hernández *et al.* (2006), analizaron el agrietamiento en el noroeste de la Delegación Milpa Alta encontrando que las direcciones de las grietas siguen un patrón norte-sur y en menor medida noreste, y que las grietas presentan una mayor apertura durante la época de lluvias afectando a diversos sectores de la población.

Lermo *et al.* (2011), destacan respecto a la Delegación Milpa Alta, una familia de

grietas que se presenta en la colonia Del Mar y que continúan en la delegación Iztapalapa. Dada la ubicación de dicho sitio en zona de Lago y aproximadamente a 4 Km de distancia de la parte baja de la sierra de Santa Catarina, los autores plantean la hipótesis de que estos agrietamientos se deben a mecanismos de generación de grietas como por fracturamiento hidráulico o por irregularidades estratigráficas. Así mismo enfatizan una gran similitud entre la geometría de las curvas de isoperiodos y la localización de los agrietamientos, a partir de lo cual proponen que esta serie de agrietamientos son ocasionadas por un derrame volcánico en profundidad proveniente de la sierra de Santa Catarina (Martínez, 2015; citado por Lermo *et al.*, 2011).

Siguiendo con los agrietamientos mencionados, los autores concluyen que las variaciones en los valores de periodo dominante, debidas a la consolidación del subsuelo en los últimos años, principalmente en la zona de Lago donde van de 0.3 s a 0.9 s, están ligadas con el fenómeno de agrietamiento, especialmente en las zonas de Chalco, Iztapalapa y Tláhuac, y por tanto es de esperarse que con el tiempo se acentúe este problema en estas mismas zonas.

4 MÉTODO H/V O VIBRACIÓN AMBIENTAL (VA) PARA LA DETERMINACIÓN DE PERIODOS FUNDAMENTALES

Se ha demostrado que el uso de microtremores aplicando la técnica de cocientes espectrales H/V, introducida por primera vez por Nogoshi e Igarachi (1971) y difundida ampliamente por Nakamura (1989) para estimar la respuesta del sitio, es una herramienta de gran utilidad y bajo costo para estimar la frecuencia fundamental del terreno, principalmente en zonas urbanas (Jaramillo, 2013). La metodología H/V registra el ruido natural en un sitio mediante el uso de sensores triaxiales de banda ancha. La interpretación de la medida de vibraciones naturales está basada en la suposición de que el cociente espectral entre las componentes horizontales y la componente vertical de las microvibraciones es una aproximación de la función de transferencia de los suelos (Cuadra, 2007).

En zonas sísmicamente activas como es el caso de la Ciudad de México, así como la mayor parte de la República Mexicana, es necesario tener en cuenta el efecto de sitio, para fines de diseño sísmico. Hoy

en día solamente las Ciudad de México y Acapulco cuentan con Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismo (NTC-DS, ver Figura 3.1.1), contando a su vez con mapas de periodos dominantes del suelo (T_s) para fines de diseño sísmico obtenidos a partir de estudios de sismos y microtremores (Lermo y Chávez, 1995; Gutiérrez *et al.*, 1989) (Figura 4.1).

Para efectos de estas Normas se considerarán las zonas que fija el Artículo 179 del Reglamento, dividiendo la ciudad de México en tres zonas principales (I, II y III). La zona III son periodos mayores a 1s, La zona II se encuentra comprendida para periodos entre 0.5 y 1 s, mientras que la zona I para periodos menores que 0.5 s (Jaramillo, 2013). Cabe mencionar que esta zonificación obedece al modelo conceptual de la zonificación geotécnica de Marsal y Mazari (1959) y sus respectivas modificaciones (Tamez *et al.*, 1987), así como al mapa de isoperiodos de las NTCDS para el D.F.

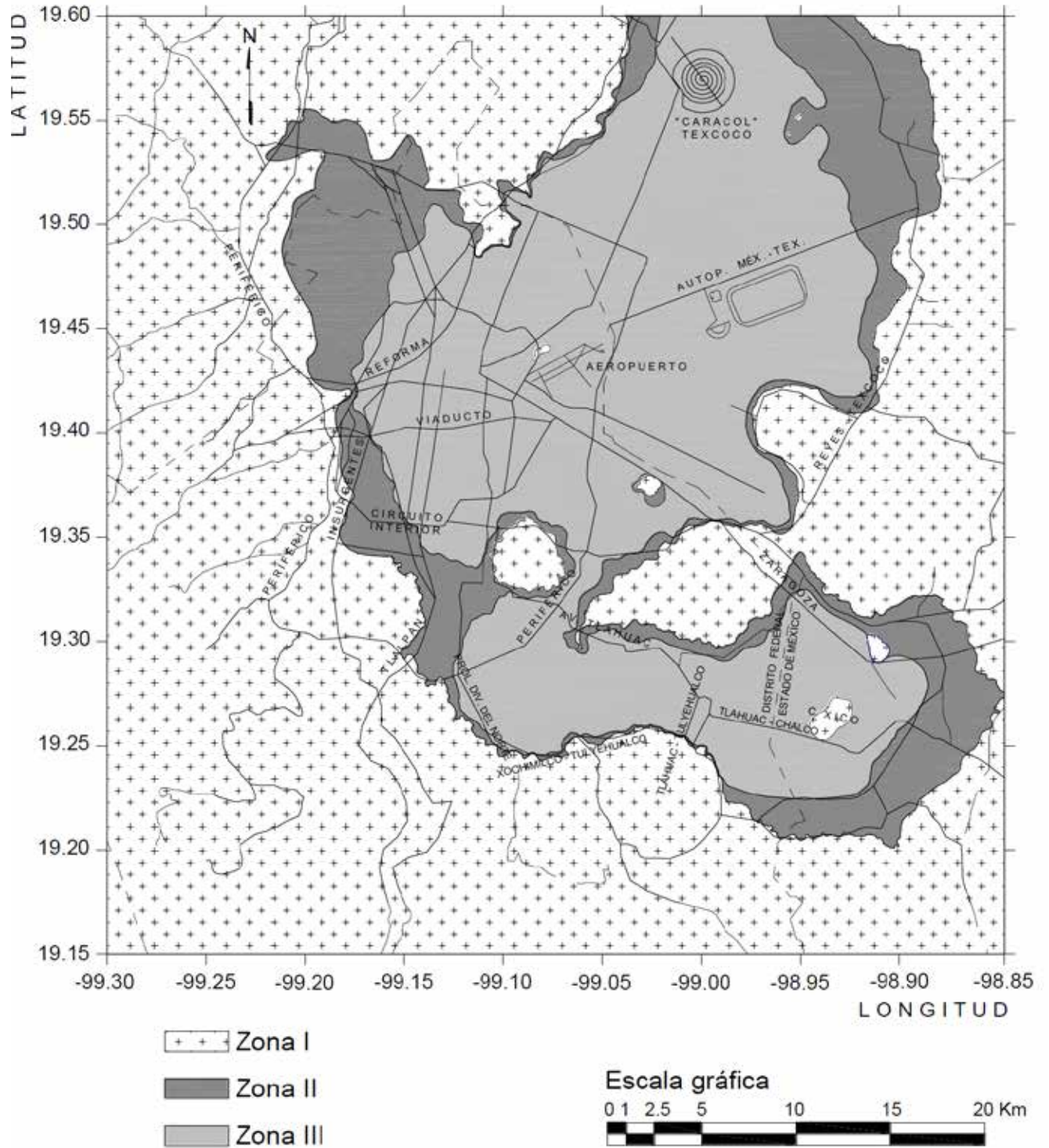


Figura 3.1.1 Propuesta de zonificación geotécnica del D.F. para fines de diseño por sismo (Normas Técnicas Complementarias de Diseño Sísmico NTCDs, 2017).

Diversos autores (González *et al.*, 2011 y Jaramillo *et al.*, 2012) señalan que existen zonas ciegas o carentes de información respecto a valores de T_s en la zonificación geotécnica de la Ciudad de México, por lo que se ha recurrido a una extrapolación con base en la zonificación geotécnica de la Ciudad de México, atendiendo a la estrecha relación que éstas dos comparten, aunque no siempre se han obtenido resultados adecuados.

Aunado a esta problemática es importante considerar también el cambio en las propiedades dinámicas y geométricas del subsuelo en función del tiempo, debidas al hundimiento regional y consecuente disminución del espesor del suelo compresible (Aguilar *et al.*, 2007). Ya que como se sabe el periodo dominante de vibración del suelo (T_s) se asocia con el espesor del depósito (H) y con la velocidad de propagación de las ondas de corte a través de la expresión:

$$T_s = 4H / V_S$$

De lo que se establece que al disminuir el espesor compresible del depósito y aumentar la velocidad de propagación de ondas con el tiempo, se genera una disminución en el periodo dominante de vibración del suelo (Aguilar *et al.*, 2008).

Actualmente es indiscutible la buena resolución de la técnica H/V para la determinación de la frecuencia fundamental de resonancia del terreno (Lermo *et al.*, 1994; Sawada *et al.*, 2004; Di Giacomo *et al.*, 2005; Picozzi *et al.*, 2009; Jaramillo *et al.*, 2012).

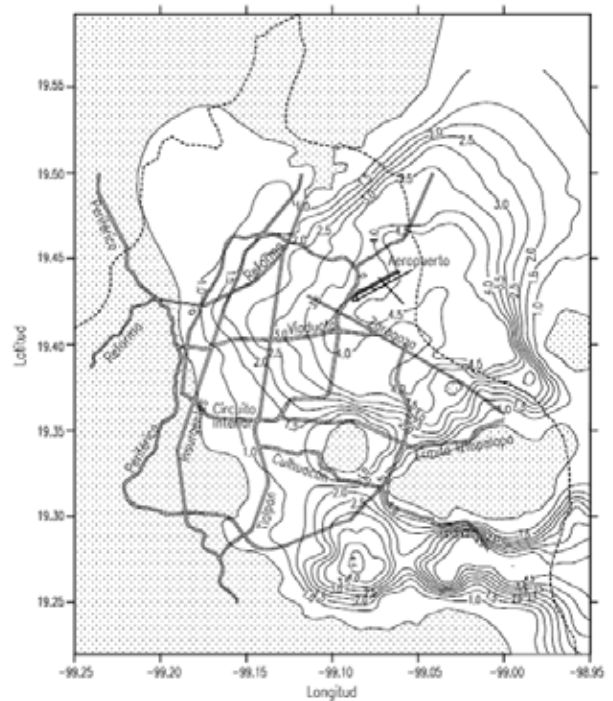


Figura 4.1. Periodos Predominantes del suelo T_s (NTCDS, 2004).

4.1 Método H/V o Vibración Ambiental (VA)

La interpretación de Nakamura del cociente H/V se basa en la suposición de que el efecto de las ondas superficiales puede 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 y estuvo sujeta a diversas críticas de varios expertos (Kudo, 1995; citado en Bard, 1999) lo que llevó a una segunda explicación ligeramente modificada (Nakamura, 2000). En esencia si se separan los microtemores en las ondas de cuerpo y las ondas superficiales, la técnica supone que:

- Los microtemores consisten en ondas Rayleigh propagándose en una capa que está encima de un semiespacio.
- El movimiento es totalmente debido a fuentes locales y todas las fuentes profundas son despreciadas.
- Las fuentes locales no afectan el movimiento de los microtemores en la base del estrato del suelo.

Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$SE(w) = \frac{Hs(w)}{Hb(w)} \quad (3.1)$$

Donde $SE(w)$ representa el espectro de los efectos de sitio, $Hs(w)$ es el espectro de la onda horizontal en superficie y $Hb(w)$ es el espectro de la onda horizontal en la base del movimiento. Puesto que las ondas internas de los microtemores contienen ondas superficiales es necesario corregirlas removiendo los efectos de las ondas superficiales. Nakamura asume que el efecto de las ondas Rayleigh (As) está incluido en el espectro de ondas verticales superficiales (Vs) y no en la base del movimiento (Vb) y consecuentemente puede ser definido como:

$$AS(w) = \frac{Vs(w)}{Vb(w)} \quad (3.2)$$

Removiendo el efecto de las ondas Rayleigh, el espectro de sitio modificado queda definido por:

$$SM(w) = \frac{SE(w)}{As(w)} = \frac{\frac{Hs(w)}{Hb(w)}}{\frac{Vs(w)}{Vb(w)}} \quad (3.3)$$

Nakamura demostró experimentalmente, usando registros directos y de microtremores que:

$$\frac{Vb(w)}{Hb(w)} \approx 1 \quad (3.4)$$

Sustituyendo la ecuación 5.4 en 5.3 queda que:

$$SM(w) \approx \frac{Hs(w)}{Vs(w)} \quad (3.5)$$

Por lo que Nakamura concluye 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. 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.

Actualmente y para mejorar la técnica H/V se han introducido funciones de suavizado para una mejor estimación del periodo de sitio y del factor de amplificación como la propuesta por Konno y Ohmachi (1998) técnica que ha mejorado dramáticamente la identificación del periodo dominante de sitio como se muestra en la Figura 4.3 .

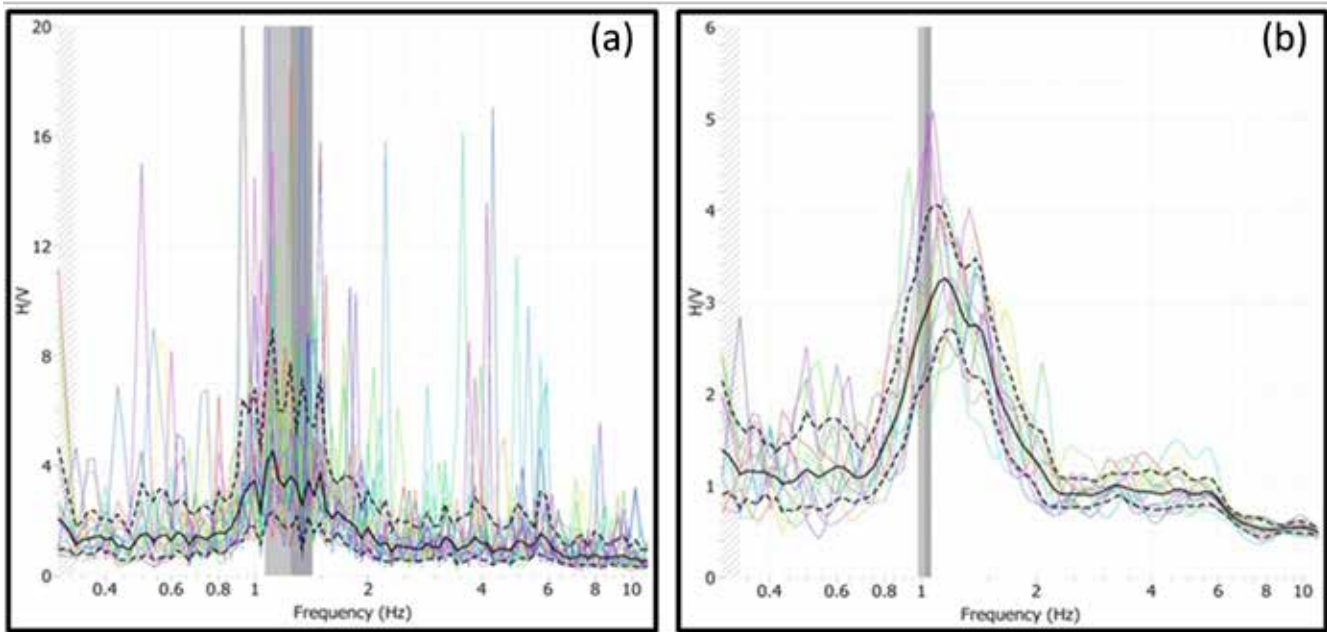


Figura 4.3 . Comparación de la técnica H/V estándar (a) y H/V incorporando la función de suavizado Cono y Ohmachi (b) (Jaramillo, 2013).

5 PRUEBAS DE VIBRACIÓN AMBIENTAL (VA)

En la Ciudad de México se han realizado diversos estudios de vibración ambiental principalmente en la zona de Lago (Lermo *et al.*, 1995) así como en las zonas periféricas de la ciudad de México, cercanas a la delegación Milpa Alta (Martínez *et al.*, 2015), los estudios de vibración ambiental dentro de la demarcación han sido escasos debido a que no existe publicación de algún estudio dentro de la demarcación. Es por ello por lo que se iniciaron estudios de vibración ambiental en la delegación tomando en cuenta la geología, la sismicidad reportada y los daños ocasionados por sismos, posteriormente a esto se realizó un recorrido en previo en la demarcación. En total se establecieron 30 puntos de interés para ejecutar las mediciones de Vibración Ambiental (VA) (Mapa de estaciones), con el fin de establecer el periodo del sitio (T_s) de cada uno de estos puntos y definir una zonificación geotécnica con base en el T_s medido, las coordenadas de estos 30 sitios se presentan en la Tabla 5.1 como se observa a continuación:

# de Estación	Estación	X	Y
1	MA01	490659	2122029
2	MA02	492838.81	2123703.33
3	MA03	494747.73	2123187.64
4	MA04	497510.71	2121999.51
5	MA05	500546.69	2124825.81
6	MA06	500202.82	2120318.24
7	MA07	499821.17	2122311.27
8	MA08	496673.72	2120342.26
9	MA09	492296.88	2121557.22
10	MA11	499754.98	2125290.78
11	MA12	502111.64	2124074.43
12	MA13	500794.91	2122114.93
13	MA14	498486.97	2123136.12
14	MA16	501027.52	2119574.35
15	MA17	499551	2121225
16	MA18	495899.81	2119586.45
17	MA19	495907.29	2121051.2
18	MA20	495115.16	2124338.76
19	MA21	496796.28	2121049.91
20	MA23	496424.24	2122782.12
21	MA24	492518.92	2120471.14
22	MA26	492562.38	2122899.23
23	MA27	493640.39	2121216.84
24	MA29	497877.87	2121145.83
25	MA32	490586	2122072
26	MA33	497551	2122348
27	MA34	496996	2122769
28	MA35	500199	2120512
29	MA36	499195	2122166
30	MA37	500627	2121522
31	MA38	499608	2123153
32	MA39	503269.91	2124099.75
33	MA40	501884.57	2124844.62
34	MA41	500708	2124885
35	MA42	500454	2125228

Tabla 4.1. Ubicación de los puntos de monitoreo con Vibración Ambiental (VA).

En cada sitio estudiado se colocó un instrumento de medición, capaz de registrar el movimiento de las partículas que conforman la superficie del terreno, en términos de aceleración de partícula en función del tiempo.

Se destaca que, cada sensor de los instrumentos fue orientado para capturar las historias de aceleración en las componentes longitudinal, transversal y vertical. La orientación de los componentes se relaciona con las referencias siguientes:

- Componente X. Dirección Este-Oeste.
- Componente Y. Dirección Norte-Sur.
- Componente Z. Dirección Vertical.

El equipo utilizado para realizar el monitoreo de vibración ambiental, junto con sus principales características, fue el siguiente:

Un sensor tipo triaxial de la marca Guralp tipo CMG- 6TD mostrado en la Figura 5.2, este sensor registra las componentes norte/sur, este/oeste y la componente vertical del movimiento del subsuelo, este sensor tiene una sensibilidad al movimiento de subsuelo con un rango de frecuencias de 0.033 a 50 Hz. Este sensor es nivelado y orientado al norte, y conectado a una batería externa para posteriormente dar inicio a la grabación de ruido sísmico.



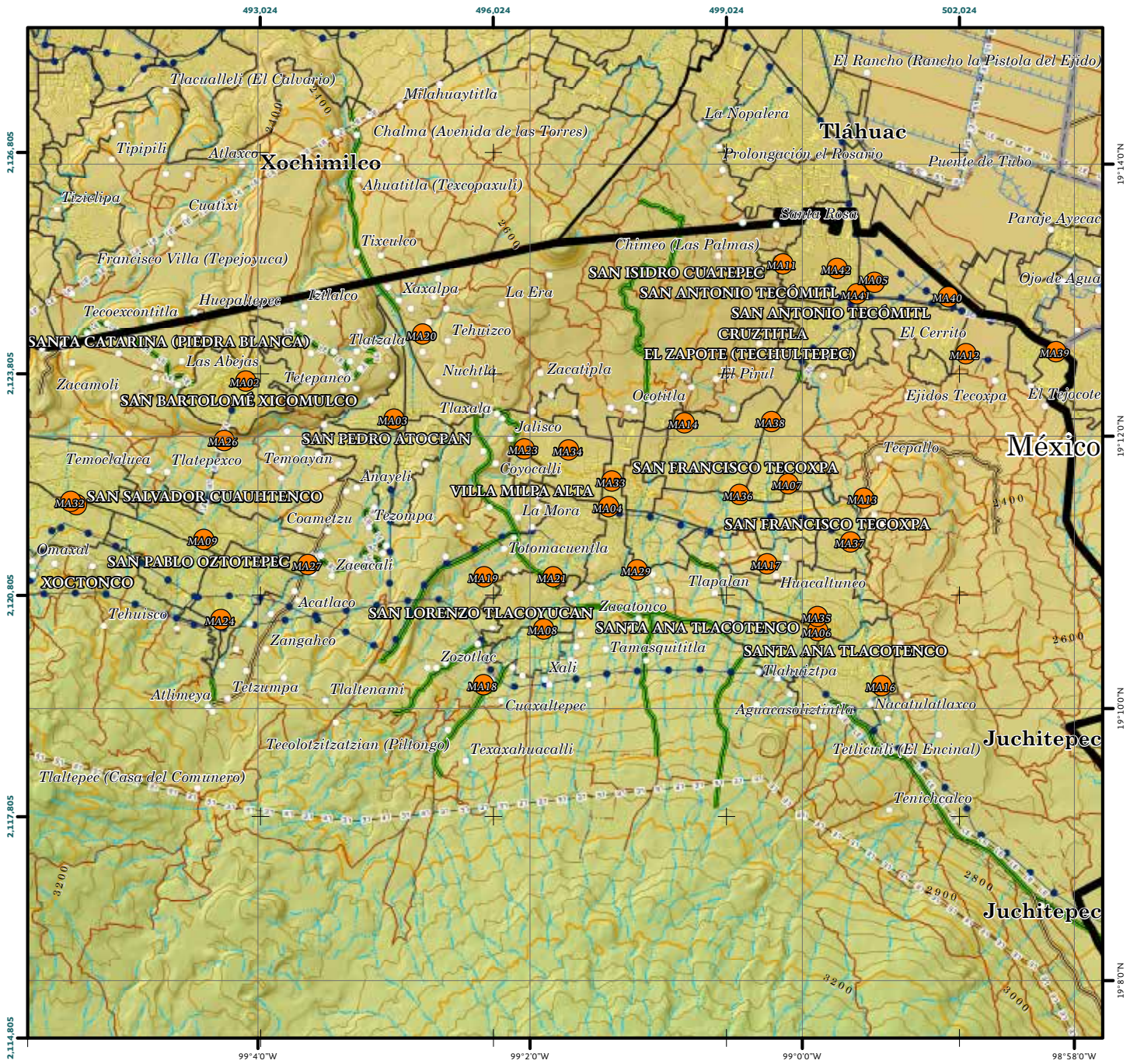
Figura 5.2. Sensor triaxial de la marca Guralp utilizado para la adquisición de datos en el monitoreo de vibración ambiental.

El instrumento de monitoreo empleado para este proyecto es de los más modernos y mejores en su tipo, cuentan además con el software requerido para transferir los registros medidos en campo a una computadora capaz de cuantificar los parámetros de la dinámica de la partícula: desplazamiento, velocidad, aceleración y frecuencia del pulso dominante en cada una de sus tres componentes, además, velocidad de partícula pico, espectros de amplitudes y espectros de potencia.

Para este estudio, los registros recolectados fueron estudiados para determinar su espectro de Fourier de cada componente para después aplicar la técnica H/V anteriormente descrita. Del análisis de estos resultados se determinó directamente la frecuencia del pulso dominante (f_0) de cada componente.

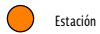
Se realizaron registros de 30 a 60 min (3,600 s) de tiempo, para cada punto seleccionado en donde en cada registro se midieron las componentes N-S, E-W y vertical. Se destaca que los instrumentos fueron calibrados para iniciar las lecturas a partir del momento de su activación. Con ello se recopilaban familias de registros en cada punto con mayor calidad.

A partir del análisis de estos registros capturados se determinaron los parámetros de los niveles de vibración generados por el ruido natural y cultural del sitio, así como la frecuencia fundamental de resonancia del suelo “fs”.



SIMBOLOGÍA

ESTACIONES



Estación

LÍMITES POLÍTICOS

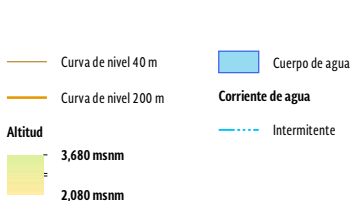


VÍAS DE COMUNICACIÓN



DATOS DE RELIEVE

RASGOS HIDROGRÁFICOS



INFRAESTRUCTURA



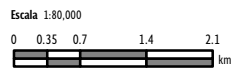
MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA URBANA DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA, CIUDAD DE MÉXICO.



Año de elaboración: 2018
Datum: WGS84

COORDENADAS GEOGRÁFICAS
Gradícula: 00° 02' 00"
Unidades: grados

COORDENADAS UTM
Gradícula: 3,000
Unidades: metros



Asesor científico:
Dr. Raúl González Herrera
Responsable de proyecto:
Ing. Mariana Guadalupe Heredia Martínez

Elaboró:
Ing. Karen Michel
Gil Frausto

Fuentes:
Marco Geostatístico Ciudad de México, INEGI 2018.
3GIS, S.A. DE C.V.
World Terrain Base.

Mapa de estaciones

5.1 Procesamiento de datos

A partir del análisis de los datos grabados en los distintos puntos del área de estudio, se realizaron los siguientes procesos para cada una de las tres componentes capturadas de cada evento:

- Corrección por bias del registro grabado.
- Cálculo del espectro de potencia en el intervalo de DC (corriente directa) a más de 25.0 Hz, correspondiente a periodos mayores a 0.04 s.
- Cálculo del espectro de Fourier de velocidad de DC (corriente directa) a más de 25.0 Hz, correspondiente a periodos mayores a 0.04 s.
- Determinación de los períodos dominantes a través de la técnica H/V.

Los valores de aceleración máxima (A_{\max}) y frecuencia (f_s) de los armónicos más importantes presentes en el cociente espectral H/V, permitieron determinar el período característico (T_s) del suelo.

Para la identificación de las frecuencias características, asociadas a los periodos dominantes, se aplicaron las siguientes técnicas:

- Cocientes espectrales aplicando la técnica de Nakamura con las siguientes variables: Relación entre componentes

horizontales NS y EW con respecto a la componente vertical (REHV).

Con la técnica de Nakamura se busca eliminar las frecuencias no significativas y resaltar los periodos dominantes del suelo.

5.2 Periodos dominantes

Los resultados obtenidos con el Software Geopsy para determinar las frecuencias características de cada registro se consignan en la Tabla 5.2.

Por otra parte, del análisis de los registros de vibración ambiental (VA), de todas las ventanas de tiempo analizadas y de las bandas espectrales de frecuencias características, se determinó el periodo dominante para cada sitio de estudio el cual varía en todo el tramo de estudio de 0.03 s a 3.17 s.

Del análisis realizado se establecen los siguientes 35 periodos dominantes de vibración para cada sitio de estudio son:

A partir de los resultados de la Tabla 5.2 se realizó una microzonificación del terreno a partir de los periodos dominantes de suelo T_s (Anexo III) para la zona de interés, en donde existen zonas con periodos mayores a 0.03 y hasta 3.17 s, indicativo de una variación estratigráfica importante por lo que existen sitios que pueden considerarse desde terreno tipo I (Lomas), hasta terreno tipo III (Lago).

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA URBANA
DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA, CIUDAD DE MÉXICO.

# de Estación	Nombre de Estación	X	Y	Frecuencia Fs (HZ)	Periodo Ts (s)	Amplitud
1	MA01	490659	2122029	5.1	0.19	1.78
2	MA02	492838.81	2123703.33	17.36	0.057	2.98
3	MA03	494747.73	2123187.64	9.77	0.12	3.64
4	MA04	497510.71	2121999.51	15.97	0.062	2.35
5	MA05	500546.69	2124825.81	0.315	3.17	2.73
6	MA06	500202.82	2120318.24	5.24	0.19	2.18
7	MA07	499821.17	2122311.27	25.72	0.038	2.2
8	MA08	496673.72	2120342.26	6.88	0.145	2.95
9	MA09	492296.88	2121557.22	4.12	0.242	3.38
10	MA11	499754.98	2125290.78	2.65	0.377	2.69
11	MA12	502111.64	2124074.43	1.76	0.568	8.93
12	MA13	500794.91	2122114.93	14.15	0.07	3.17
13	MA14	498486.97	2123136.12	14.83	0.0674	3.59
14	MA16	501027.52	2119574.35	5.1	0.196	3.21
15	MA17	499551	2121225	13.51	0.074	1.74
16	MA18	495899.81	2119586.45	3.95	0.253	6.38
17	MA19	495907.29	2121051.2	16.75	0.059	5.25
18	MA20	495115.16	2124338.76	17.85	0.056	4.19
19	MA21	496796.28	2121049.91	19.56	0.051	6.55
20	MA23	496424.24	2122782.12	12.23	0.081	1.74
21	MA24	492518.92	2120471.14	6.58	0.151	3.59
22	MA26	492562.38	2122899.23	9.15	0.109	2.92
23	MA27	493640.39	2121216.84	15.39	0.064	3.39
24	MA29	497877.87	2121145.83	15.67	0.063	5.52
25	MA32	490586	2122072	5.56	0.17	2.37
26	MA33	497551	2122348	16.88	0.059	3.58
27	MA34	496996	2122769	6.12	0.163	3.49
28	MA35	500199	2120512	8.55	0.115	1.2
29	MA36	499195	2122166	2.24	0.44	2.47
30	MA37	500627	2121522	15.24	0.065	1.32
31	MA38	499608	2123153	11.15	0.089	1.35
32	MA39	503269.91	2124099.75	12.27	0.081	1.44
33	MA40	501884.57	2124844.62	0.59	1.68	3.47
34	MA41	500708	2124885	4.26	0.235	1.37
35	MA42	500454	2125228	4.22	0.236	2.58

Tabla 5.2. Resultados de periodos y frecuencias características obtenidas en los 35 sitios estudiados.

Como lo define el artículo 170 del Capítulo VIII del Título Sexto del Reglamento, para fines de las presentes Normas, la Ciudad de México se divide en tres zonas con las siguientes características generales:

a) Zona I. Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona, es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos artificiales no controlados;

b) Zona II. Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros.

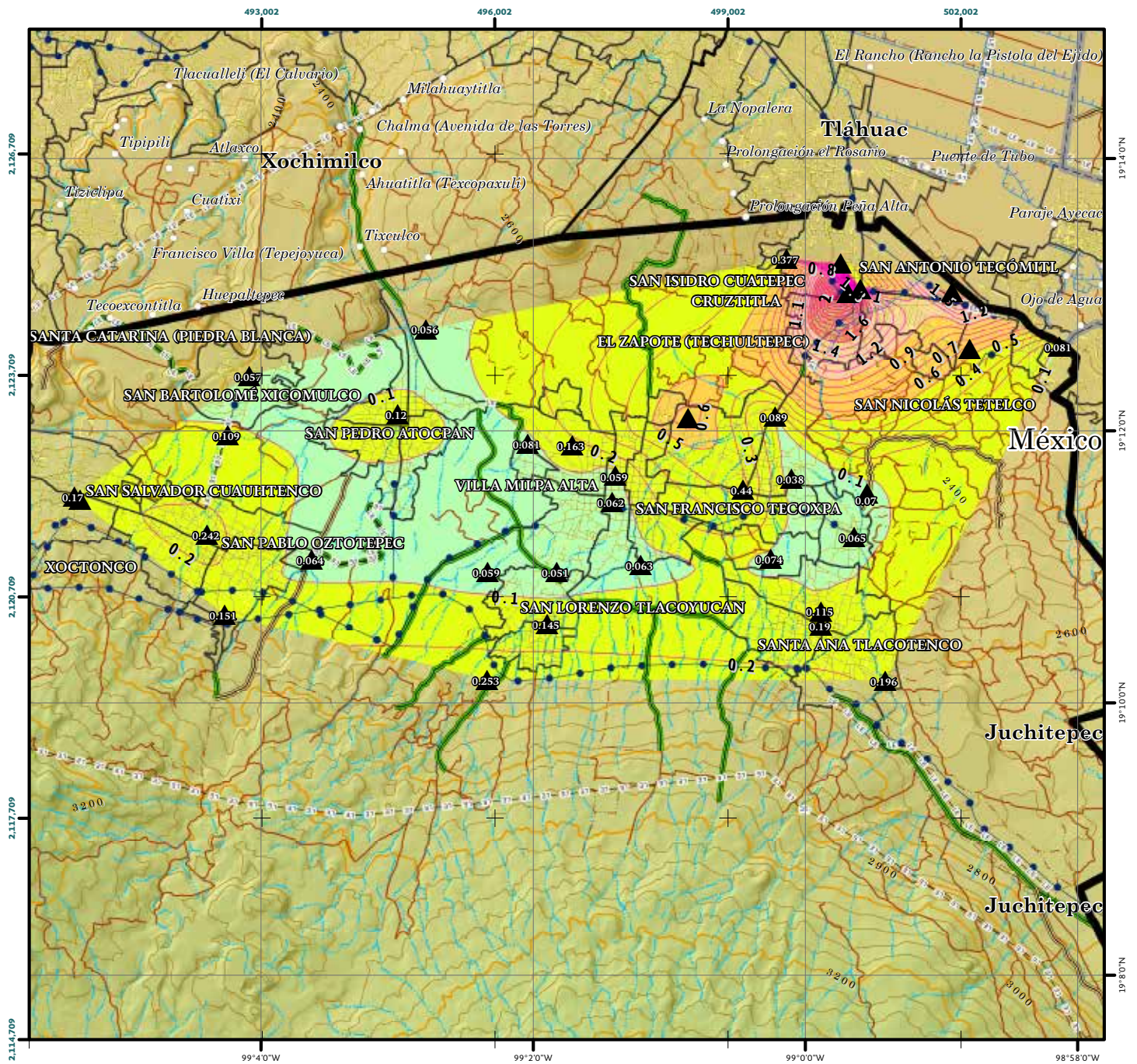
c) Zona III. Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son en general medianamente compactas a muy compactas y de espesor variable de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos

artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

A partir del procesamiento de los registros obtenidos de las 35 estaciones de monitoreo de vibración ambiental fue posible generar un mapa de isoperiodos donde se observa la distribución de los periodos fundamentales del suelo en la zona urbana de la delegación de Milpa Alta, que van en un rango de 0.038 a 3.5 s (Mapa de periodos), de igual manera se generó el mapa de distribución de las frecuencias fundamentales del sitio o isofrecuencias, es decir la frecuencia a la que el suelo vibra de manera natural (Mapa de frecuencias). Otro resultado que se obtuvo de este análisis es la amplificación del suelo para periodos en un rango de 0.038 a 3.5 segundos (Mapa de amplitudes).

Con la integración de toda la información disponible y los resultados obtenidos del monitoreo de vibraciones se generó el mapa de microzonificación sísmica para la zona urbana de la delegación Milpa Alta. En esta microzonificación se observa que la mayor parte de la zona urbana de la delegación Milpa Alta se encuentra sentada en la zona de loma (Zona I), por otra parte, se observa una porción perteneciente a la zona de transición (Zona II) y zona de lago (Zona III) en la parte Noreste del área de estudio (Mapa de zonificación).

Las amplitudes mostradas en el mapa pueden corresponder a que se encuentra sobre materiales fracturados, estos tienden a amplificar las ondas debido a la diferencia de tamaños por cenizas y brechas volcánicas.



SIMBOLOGÍA

PERIODOS		LÍMITES POLÍTICOS		VÍAS DE COMUNICACIÓN	
	Periodos		Localidad rural		Carretera
	Isoperiodos		Límite Milpa Alta		Pavimentada
	0.038 - 0.10		Límite estatal		Terracería
	0.10 - 0.50		Límite municipal		Calle
	0.50 - 1.0		AGEB		Brecha
	1.0 - 1.50		Manzana		Vereda
	1.50 - 2.50				
	2.50 - 3.50				

DATOS DE RELIEVE		RASGOS HIDROGRÁFICOS		INFRAESTRUCTURA	
	Curva de nivel 40 m		Cuerpo de agua		Línea comunicación
	Curva de nivel 200 m		Corriente de agua		Vía férrea
	Altitud		Intermitente		Acueducto
	3,680 msnm				Canal
	2,080 msnm				

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA URBANA DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA, CIUDAD DE MÉXICO.

Año de elaboración: 2018
Datum: WGS84

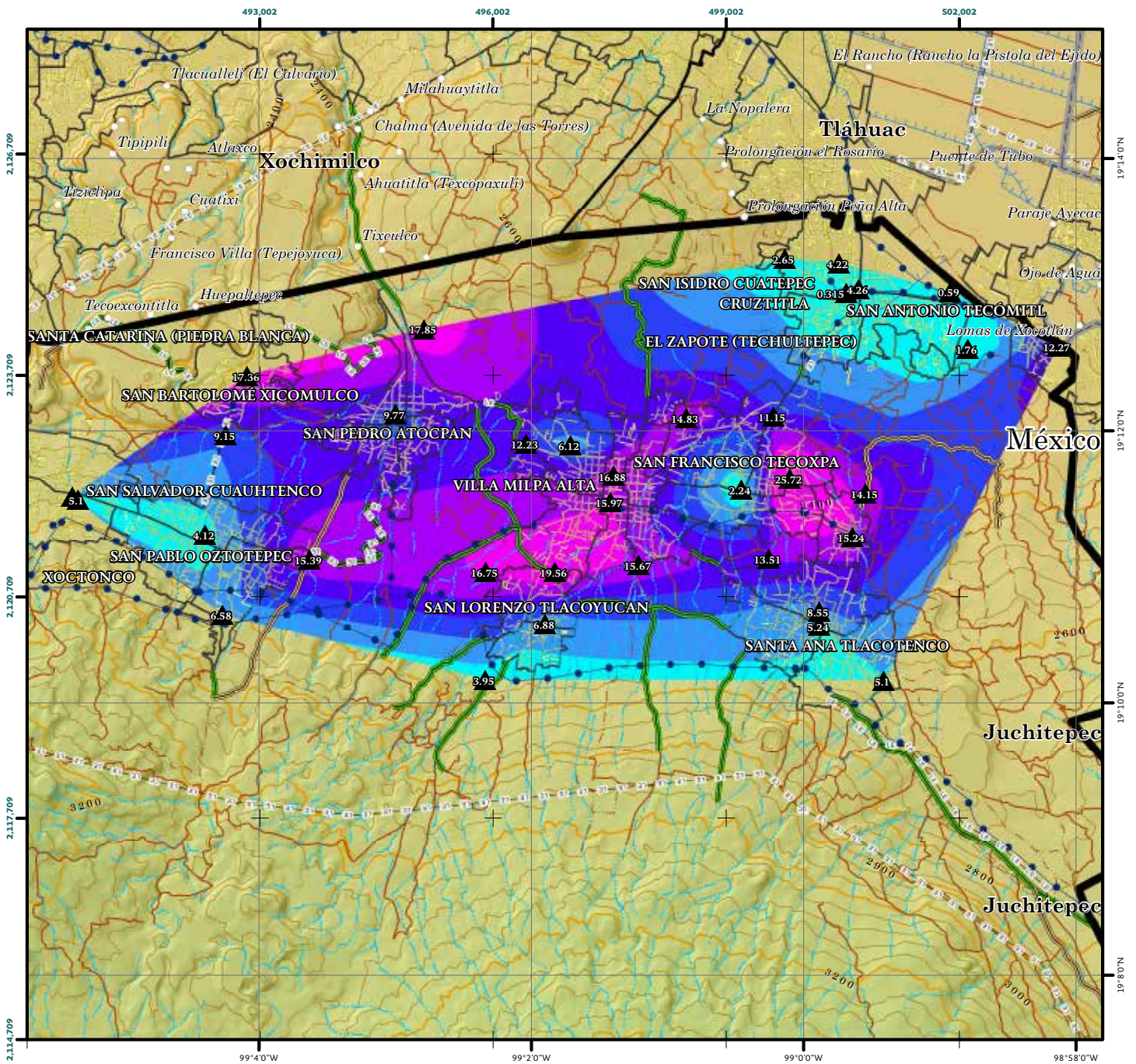
COORDENADAS GEOGRÁFICAS Gradícula: 00° 02' 00" Unidades: grados	COORDENADAS UTM Gradícula: 3,000 Unidades: metros	Escala: 1:80,000 0 0.35 0.7 1.4 2.1 km
--	--	--

Asesor científico: Dr. Raúl González Herrera
Responsable de proyecto: Ing. Mariana Guadalupe Heredia Martínez
Elaboró: Ing. Karen Michel Gil Frausto

Fuentes: Marco Geoestatístico Ciudad de México, INEGI 2018. 3GIS, S.A. DE C.V. World Terrain Base.




Mapa de periodos






SIMBOLOGÍA


FRECUENCIAS (HZ)		LÍMITES POLÍTICOS		VÍAS DE COMUNICACIÓN	
▲ Frecuencias	8.38 - 10.86	○ Localidad rural	▬ Carretera	▬ Pavimentada	
Frecuencias (Hz)	10.86 - 13.15	▬ Límite Milpa Alta	▬ Terracería	▬ Calle	
0.34 - 6	13.15 - 15.93	▬ Límite estatal	▬ Camino	▬ Brecha	
6 - 8.38	15.93 - 25.66	▬ Límite municipal	▬ Vereda		
		▬ AGEB			
		▬ Manzana			
DATOS DE RELIEVE		RASGOS HIDROGRÁFICOS		INFRAESTRUCTURA	
— Curva de nivel 40 m	▬ Cuerpo de agua	▬ Línea comunicación			
— Curva de nivel 200 m	▬ Corriente de agua	▬ Vía férrea			
Altitud	▬ Intermitente	▬ Acueducto			
3,680 msnm		▬ Canal			
2,080 msnm					

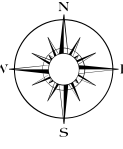
MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA URBANA DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA, CIUDAD DE MÉXICO.



120°0'0"W 90°0'0"W
15°0'0"N 30°0'0"N



99°0'0"W
19°15'0"N 19°30'0"N



Año de elaboración: 2018
Datum: WGS84


COORDENADAS GEOGRÁFICAS
Graticula: 00° 02' 00"
Unidades: grados

Asesor científico:
Dr. Raúl González Herrera
Responsable de proyecto:
Ing. Mariana Guadalupe Heredia Martínez

COORDENADAS UTM
Graticula: 3,000
Unidades: metros

Elaboró:
Ing. Karen Michel
Gil Frausto

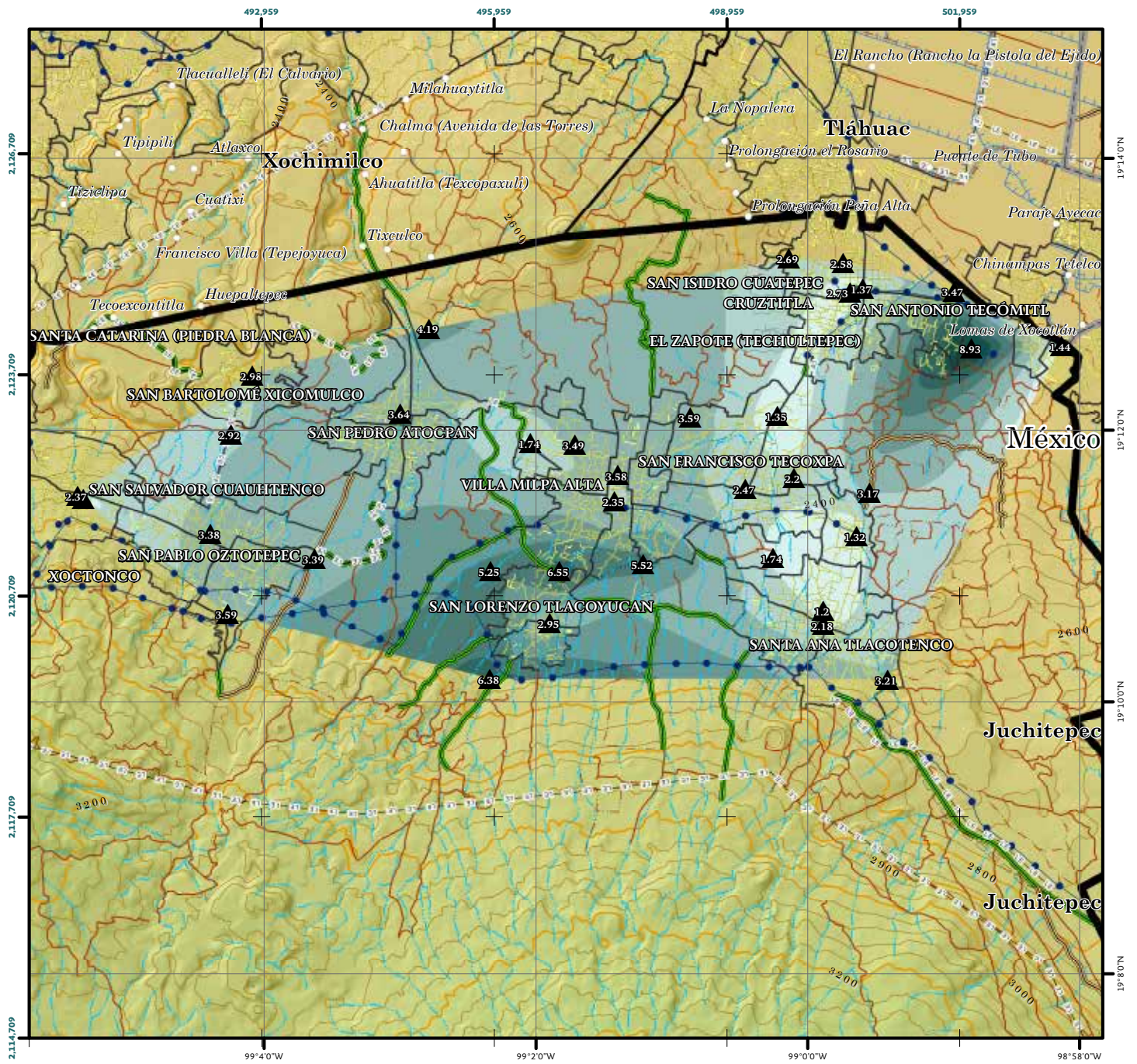
Escala 1:80,000



0 0.35 0.7 1.4 2.1 km

Fuentes:
Marco Geoestadístico Ciudad de México, INEGI 2018.
3CSIG, S.A. DE C.V.
World Terrain Base.

Mapa de frecuencias



SIMBOLOGÍA

AMPLITUDES		LÍMITES POLÍTICOS		VÍAS DE COMUNICACIÓN	
	Amplitud		Localidad rural		Carretera
	1.20 - 2		Límite Milpa Alta		Pavimentada
	2.00 - 3		Límite estatal		Terracería
	3.0 - 4		Límite municipal		Calle
	4.0 - 5		AGEB		Brecha
	5.0 - 6		Manzana		Vereda
	6.0 - 7				
	7.0 - 9				

DATOS DE RELIEVE		RASGOS HIDROGRÁFICOS		INFRAESTRUCTURA	
	Curva de nivel 40 m		Cuerpo de agua		Línea comunicación
	Curva de nivel 200 m		Corriente de agua		Vía férrea
	Altitud		Intermitente		Acueducto
	3,680 msnm				Canal
	2,080 msnm				

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA URBANA DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA, CIUDAD DE MÉXICO.

120°0'0"W 90°0'0"W
15°0'0"N 30°0'0"N

99°0'0"W
19°15'0"N 19°30'0"N
106°06'0"E 106°14'0"E

Año de elaboración: 2018
Datum: WGS84

COORDENADAS GEOGRÁFICAS Gradícula: 00° 02' 00" Unidades: grados	COORDENADAS UTM Gradícula: 3,000 Unidades: metros	Escala 1:80,000
--	--	---------------------

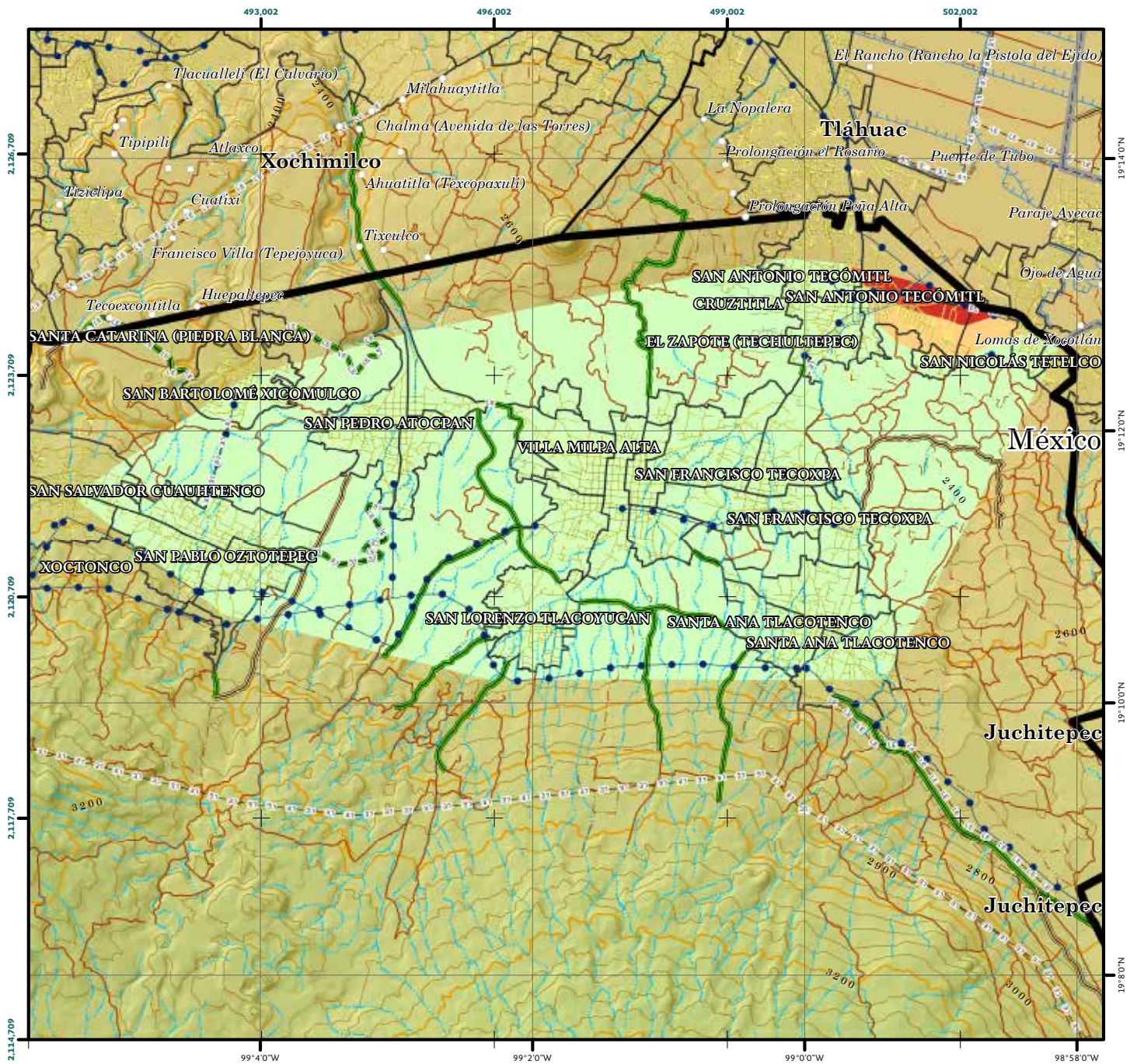
Fuentes:
Marco Geoestatístico Ciudad de México, INEGI 2018.
3GSIG, S.A. DE C.V.
World Terrain Base.

Asesor científico:
Dr. Raúl González Herrera
Responsable de proyecto:
Ing. Mariana Guadalupe Heredia Martínez

Elaboró:
Ing. Karen Michel
Gil Frausto

Mapa de amplitudes





SIMBOLOGÍA

ZONIFICACIÓN		LÍMITES POLÍTICOS		VÍAS DE COMUNICACIÓN	
	Zona de lomas		Límite Milpa Alta		Carretera
	Zona de transición		Límite estatal		Pavimentada
	Zona de lago		Límite municipal		Terracería
			AGEB		Calle
			Manzana		Camino
			Localidad urbana		Brecha
					Vereda
DATOS DE RELIEVE		RASGOS HIDROGRÁFICOS		INFRAESTRUCTURA	
	Curva de nivel 40 m		Cuerpo de agua		Línea comunicación
	Curva de nivel 200 m		Corriente de agua		Vía férrea
	Altitud		Intermitente		Acueducto
	3,680 msnm				Canal
	2,080 msnm				

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA URBANA DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA, CIUDAD DE MÉXICO.

120°0'0"W 90°0'0"W
15°0'0"N 30°0'0"N

99°0'0"W
19°15'0"N 19°30'0"N
106°06'1"N 106°14'1"E

Año de elaboración: 2018
Datum: WGS84

COORDENADAS GEOGRÁFICAS Gradícula: 00° 02' 00" Unidades: grados	COORDENADAS UTM Gradícula: 3,000 Unidades: metros	Escala 1:80,000
--	--	---------------------

Asesor científico:
Dr. Raúl González Herrera
Responsable de proyecto:
Ing. Mariana Guadalupe Heredia Martínez

Elaboró:
Ing. Karen Michel
Gil Frausto

Fuentes:
Marco Geostatístico Ciudad de México, INEGI 2018.
3G SIG, S.A. DE C.V.
World Terrain Base.

6 CONCLUSIONES

En el presente trabajo se demostraron los resultados obtenidos a partir del estudio de vibración ambiental realizado en las zonas urbanas de la delegación Milpa Alta se obtuvo la distribución de la frecuencia y periodo fundamental del subsuelo a partir de la grabación de 35 puntos de vibración ambiental. En cada punto se grabó una longitud de registro de 30 minutos a 1 hora, a partir de estos registros fue empleada la técnica de cocientes espectrales de Nakamura, para determinar el periodo fundamental y la frecuencia junto a la amplitud en cada punto.

La distribución de estos puntos quedó representada en un mapa de microzonificación sísmica 4.2.4, donde el área de estudio queda dividida en tres zonas de diferentes intervalos de frecuencias que fueron expresadas en términos de periodo mismas que a continuación se describen:

- Zona de lomas (Zona I) la cual es considera de terreno firme con periodos de suelo comprendidos menores a 0.5 s. y de peligro sísmico menor. En su mayoría toda la zona urbana de la delegación (colores verdes de la Figura 4.2.4).
- Zona de transición (Zona II) se encuentra comprendida para periodos entre 0.5 y 1 s se presenta con los depósitos que forman una franja entre los suelos lacustres y las sierras que rodean la Cuenca de México (zona aluvial). En la zona Noreste del área de estudio, principalmente en el poblado de San Antonio Tecomitl se presenta este caso (colores amarillos de la Figura 4.2.4).
- Zona de lago (Zona III), periodos correspondientes mayores a 1 s que a su vez. Estas zonas están presentes en la región Noreste de la demarcación en la zona principalmente en la zona de San Antonio Tecomitl y Xaltipac.

7 RECOMENDACIONES

Para realizar algún tipo de construcción se recomienda realizar estudios a detalle para obtener las propiedades sismoestratigráficas y generar un espectro de diseño sísmico tal como se indica en las normas técnicas complementarias (NTCD, 2017).

8 REFERENCIAS

- Aguilar B. R., Galicia Dimas M., Salazar González M., Avilés López J. 2007. *Cambios en los espectros de diseño sísmico del Valle de México debidos al hundimiento regional. Memorias del X Congreso Colombiano de Geotecnia*. Paipa, Colombia.
- Auvinet, G., Méndez, E., Juárez M., (2017). *El subsuelo de la ciudad de México Vol. III/The subsoil of Mexico City. Vol. III*. México: Instituto de Ingeniería
- Chavacán Avila, M.R. (2007); *Catálogo de sismicidad local para la Cuenca de México*. Tesis de Maestría. Posgrado de Ciencias de la tierra, UNAM. pp. 160.
- Cuadra Monreal, 2007, *Aplicación de Técnicas de Vibraciones ambientales: Análisis de Microtremores y Vibraciones naturales, para la caracterización de sitio*.
- Das Braja M. 2001, *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*, Cuarta Edición, International Thomson Editores, México.
- Di Giacomo D., Gallipoli M.R., Mucciarelli M., Parolai S., Richwalski S. 2005. *Analysis and modelling of HVSR in the presence of a velocity inversion. The case of Venosa (Italy)*. Bull Seism Soc Am 95(6): 2364–2372.
- Díaz-Rodríguez J. A. 2006. *Los Suelos Lacustres de la Ciudad de México*. Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil., 6(2), 111-130.
- Díaz-Rodríguez A., Lozano-Santacruz R., Dávila-Alcocer V.M., Vallejo E. and Girón P. 1998. *Physical, chemical, and mineralogical properties of México City sediments: a geotechnical perspective*. Can. Geotech. J. 35, 600-610.
- Enciso-De la Vega S. 1992. *Propuesta de nomenclatura estratigráfica para la cuenca de México*: Revista del Instituto de Geología, 10(1), 26-36.
- González J., Lermo J., Ismael E., Angulo J. 2011. *Efectos del hundimiento regional en los cambios de periodo dominante del suelo de la cuenca de México: propuesta de nuevos mapas para las normas técnicas complementarias para diseño por sismo (NTCDS)*. Memorias del XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Aguascalientes, México.
- Gutiérrez C., Lermo J., Nava E., Singh SK., Coyoli R., Rodríguez M., Mijares H. 1989. *Registro de temblores pequeños y medición de microtremores en Acapulco para microzonificación de la ciudad*, Memorias del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Acapulco, México

- Isaaks E. H., and Srivastava R. M. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York, 561 pp.
- Jaramillo R. A. 2013. *Método H/V para la reconfiguración del mapa de periodos predominantes del suelo del D.F. para diseño por sismo*. Revista de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A.C. No. 227, pp 19-23.
- Jaramillo R. A. y Cabrera R. M. 2012. *Comparación de la estimación del periodo de suelo en diez sitios de la ciudad de México mediante el uso de vibración ambiental y sismos de mediana magnitud*. Memorias de la XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica. SMIG.
- Konno K. and Ohmachi T. 1998. *Ground motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremors*. Bull. Seism. Soc. Am., 88-1, 228-241.
- Lermo J. F. and Chávez-García F. J. 1995. *Site effect evaluation at Mexico City: dominant period and relative amplification from strong motion and microtremor records*, Soil Dyn. Earthquake Eng., 13, 413 – 423.
- Lermo J. F. y Chávez G. F. J. 1994. *Are microtremors useful in site response evaluation?* Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 84: 1350-1364.
- Marsal R. J. y Mazari M. 1959. *El subsuelo de la Ciudad de México*. México. Instituto de Ingeniería.
- Martinez González, José & Lermo Samaniego, Javier & Vergara-Huerta, Filiberto & Ramos-Perez, Erick. (2015). *Avances en la zonificación sísmica de la ciudad de México y zona de Chalco, edo. De Mex., Propuesta de nuevo mapa de periodos dominantes para las ntc para diseño por sismo del reglamento del D. F.*
- Nakamura Y. 1989. *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*, QR of RTRI 30, no. 1, February, 25-33 pp.
- Nogoshi M. & Igarashi T. 1971. *On the amplitude characteristics of microtremor (part 2)*, J. Seismol. Soc. Japan, 24, 26–40. (In Japanese with English abstract).
- NTCDS (2017). *Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismo*, Gaceta oficial de la Ciudad de México.
- Ovando-Shelley E., Lermo J. F., Auviet G., Méndez-Sánchez E. 2011. *Microtremor measurements to identify zones of potential fissuring in the basin of México*. Geofísica Internacional (2012) 51-2:143-156.

- Picozzi M., Strollo A., Parolai S., Durukal E., Özel O., Karabulut S., Zschau J., Erdik M. 2009. *Site characterization by seismic noise in Istanbul, Turkey*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 29: 469-482.
- RCDF (2017), *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. (2017). Gaceta Oficial del Distrito Federal, Ciudad de México.
- Rojas E., Arzate J., Arroyo M. 2002, *Predicción de las zonas de agrietamiento debido a la extracción de agua*. XXI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Santiago de Querétaro, Vol.1, pp 173-181.
- Santoyo E., Ovando E., Mooser F. y León E. 2005. *Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México*, TGC geotecnia S.A. de C.V.
- Sawada Y., Taga M., Watanabe M., Nakamoto T., Nagumo H., Kudo K., Horike M., Sakajiri N., Sasatani T. 2004. *Applicability of microtremor H/V method for KiK-net strong motion observation sites and Nobi plain*. In: Proceedings of 13th W.C.E.E., paper no. 855, CD-ROM.
- Tamez E., Santoyo E., Mooser F. y Gutiérrez C. 1987. *Manual de diseño geotécnico. Vol. I*, Metro en Cajón, México: Comisión de Vialidad y Transporte Urbano. Departamento del Distrito Federal.
- Valerio V.C., López C., Alcántara I. 2012. *Mass movement processes associated with volcanic structures in Mexico City*, Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Núm. 79, pp. 48-74.
- Vázquez-Sánchez E., Jaimes-Palomera R. 1989. *Geología de la Cuenca de México: Geofísica Internacional*, 28(2), 133-190.

9 ANEXOS

Anexo I Puntos de muestreo





MA05



MA06



MA07



MA08



MA09



MA11



MA12



MA13



MA14



MA16



MA17



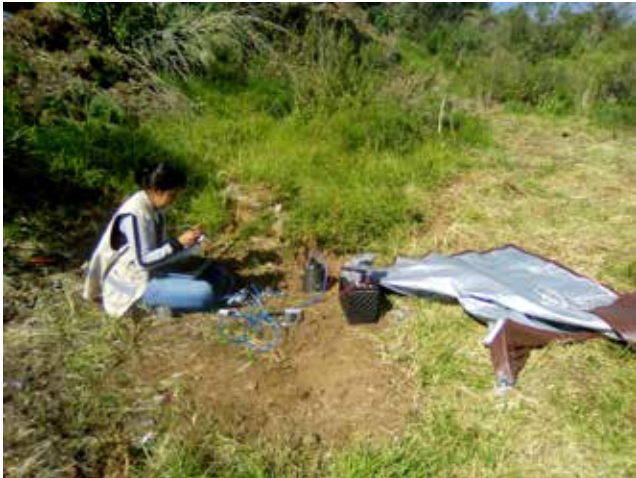
MA18



MA19



MA20



MA21



MA23



MA24



MA26



MA27



MA29





MA36



MA37



MA38



MA39



MA40

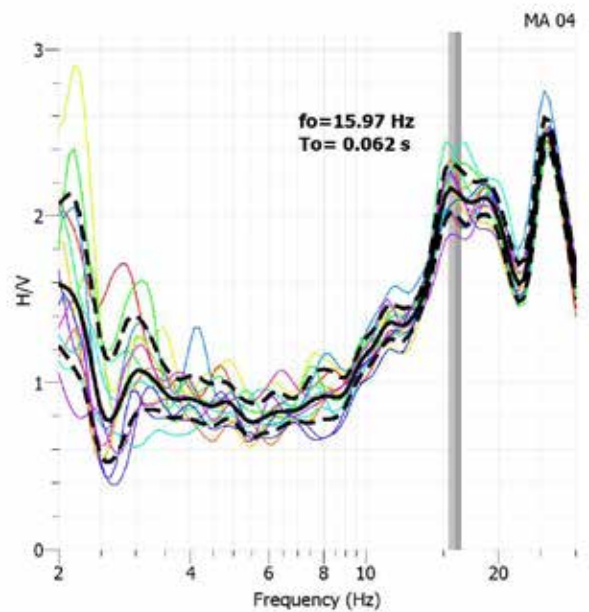
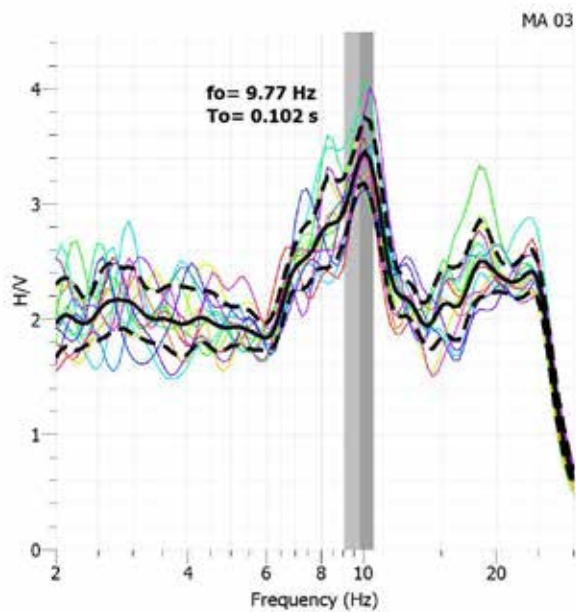
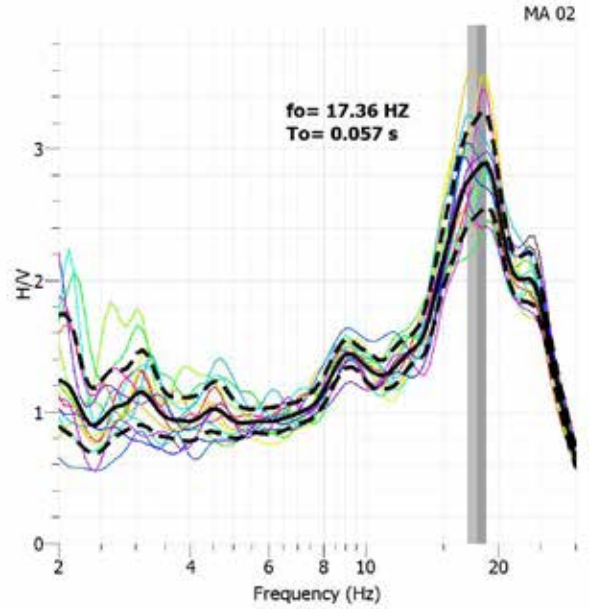
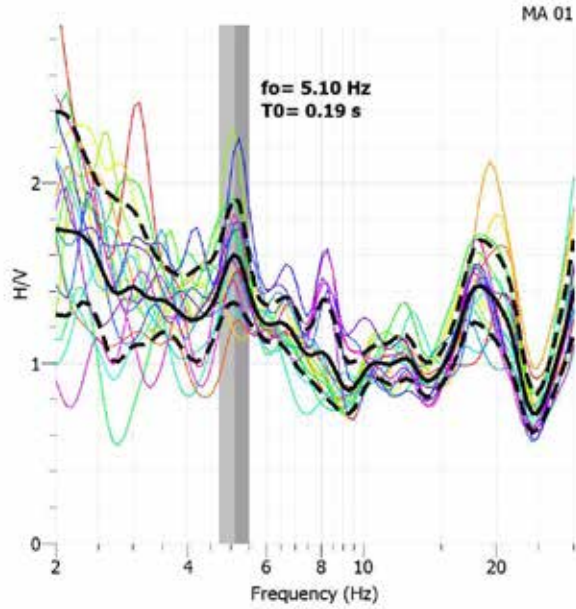


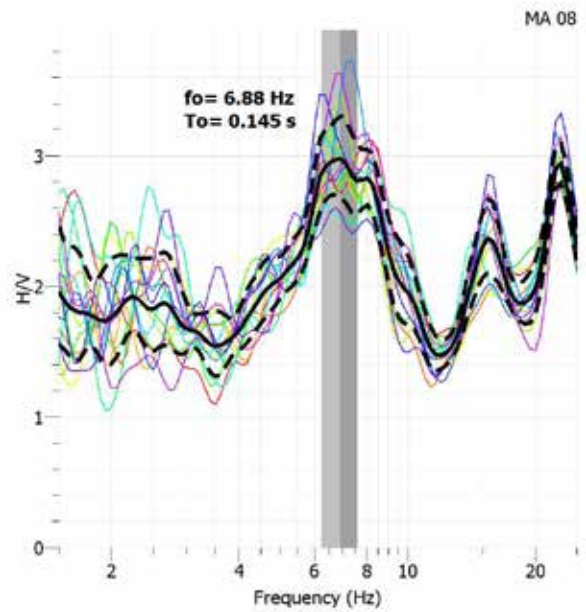
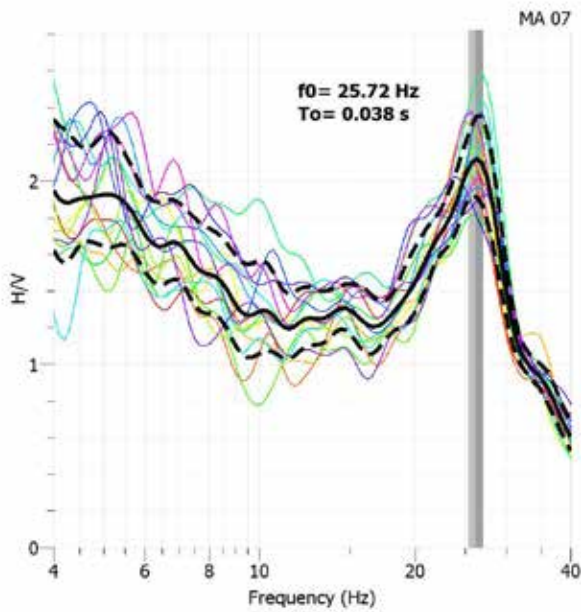
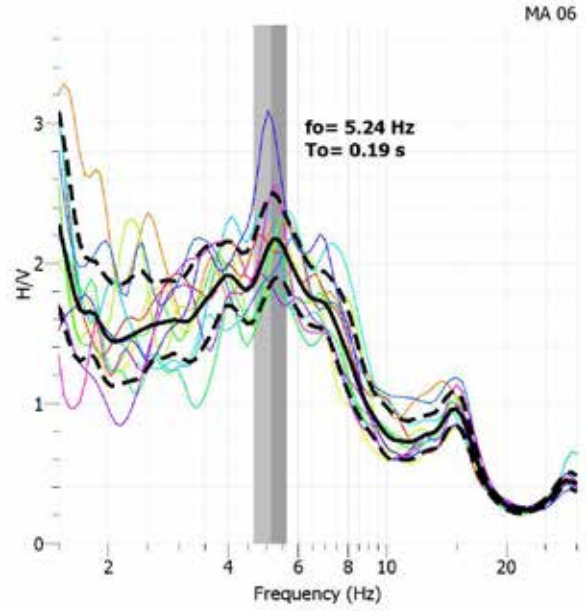
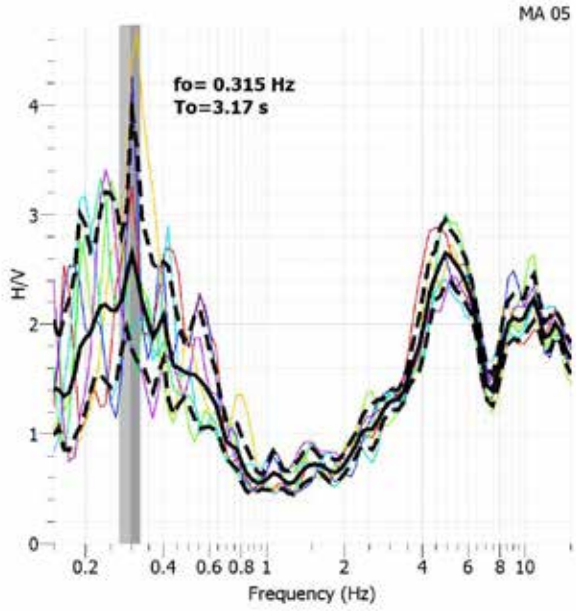
MA41

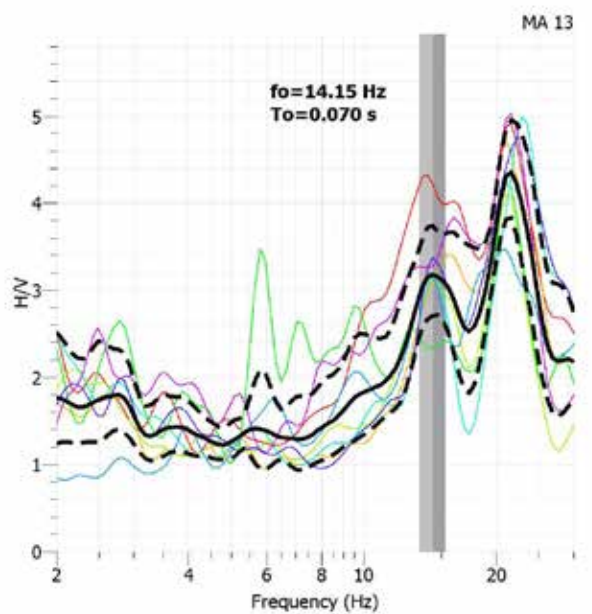
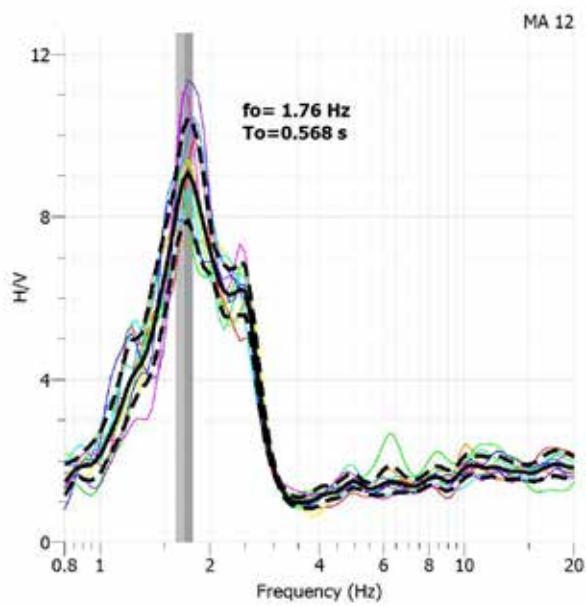
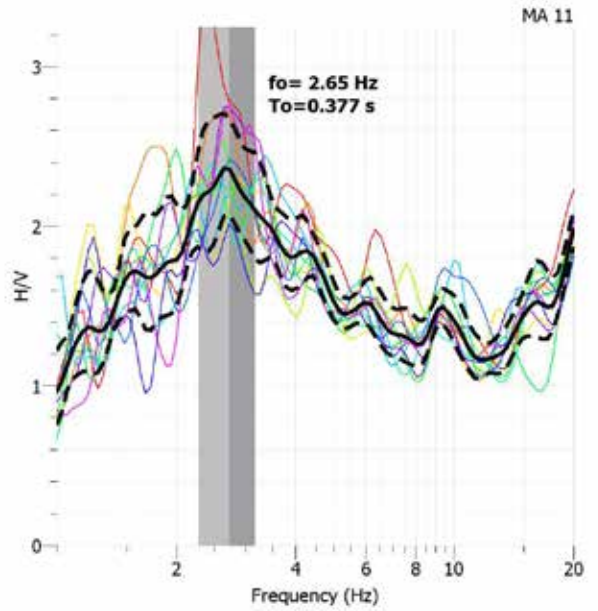
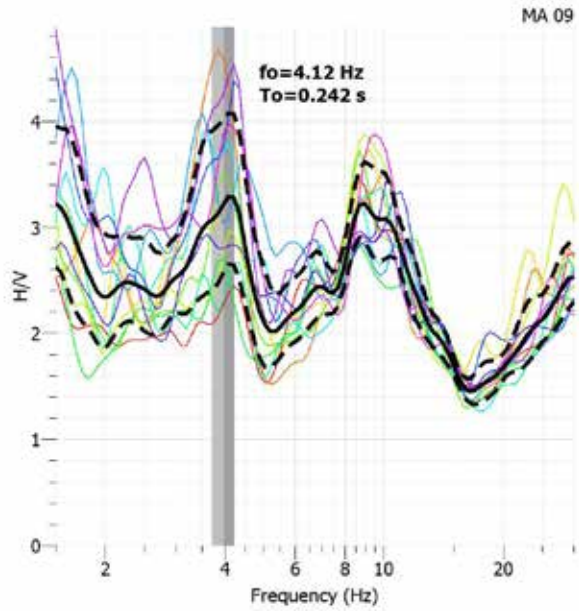


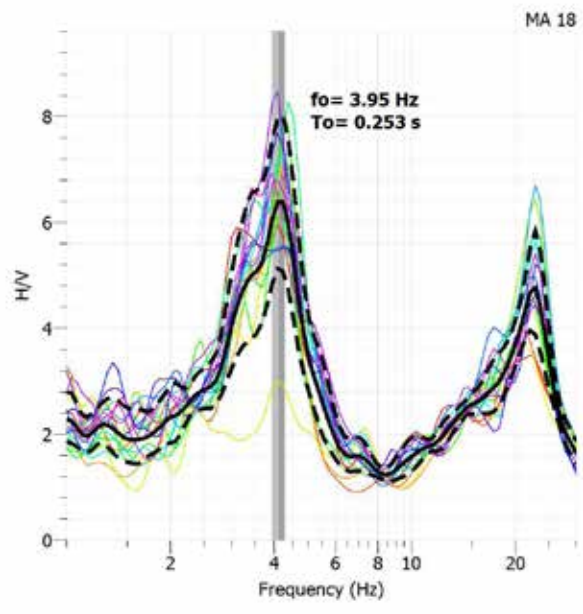
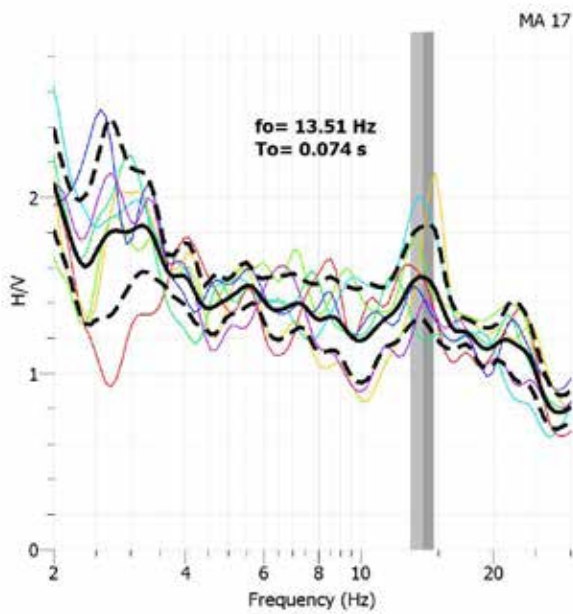
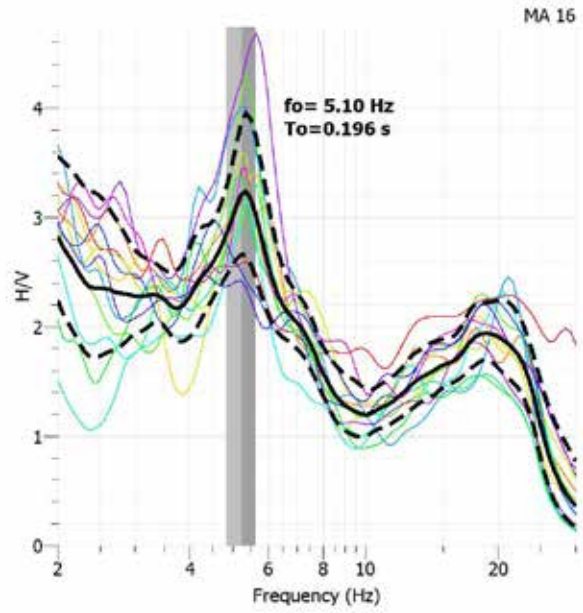
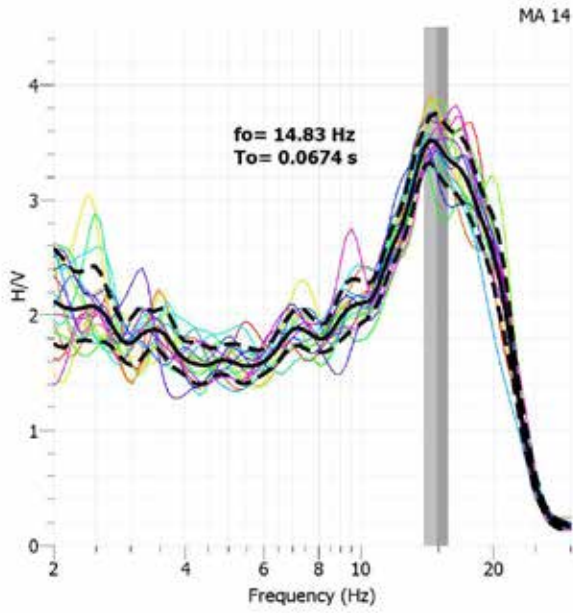
MA42

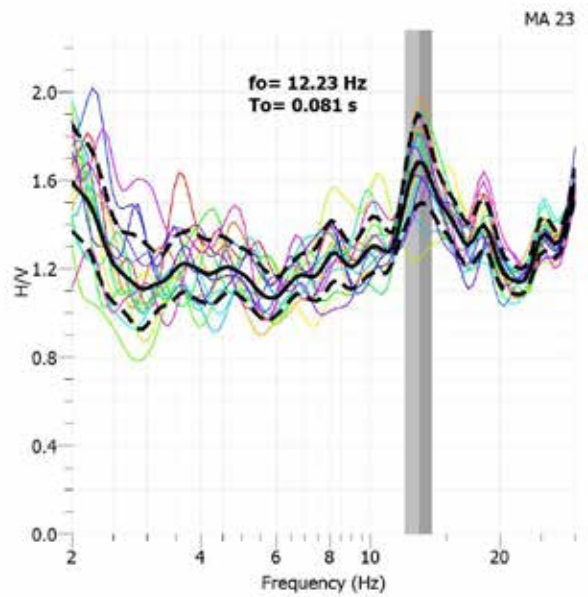
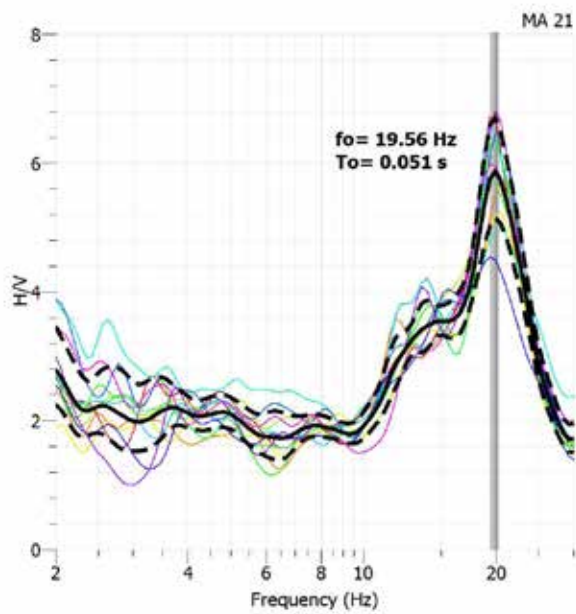
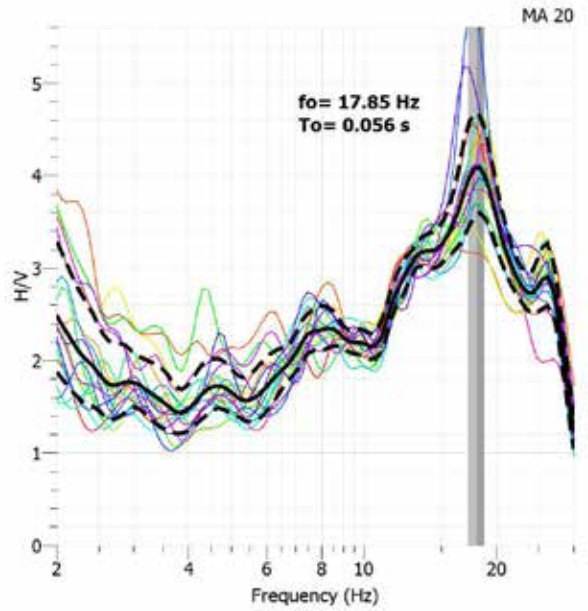
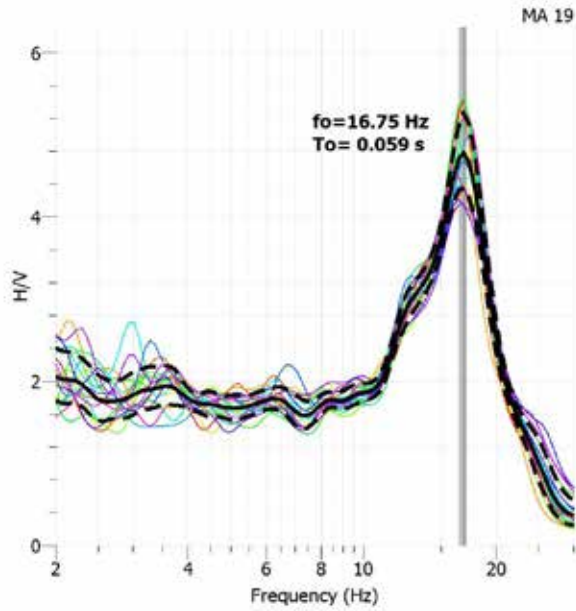
Anexo II

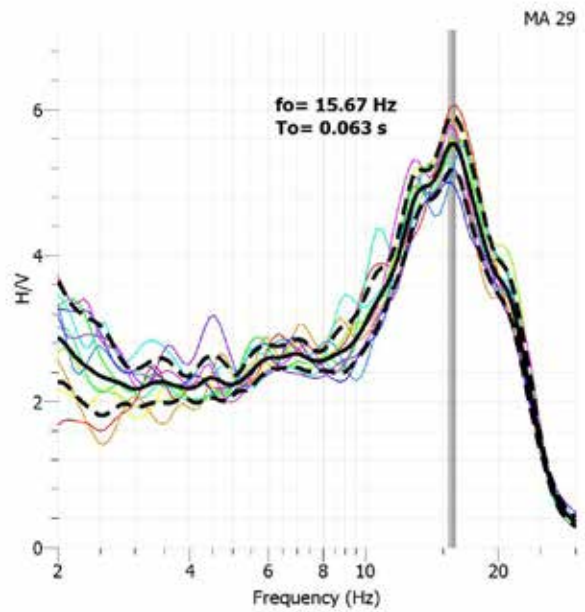
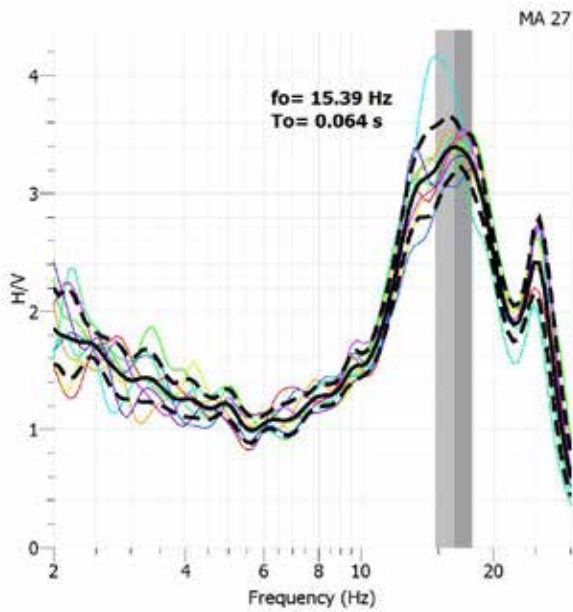
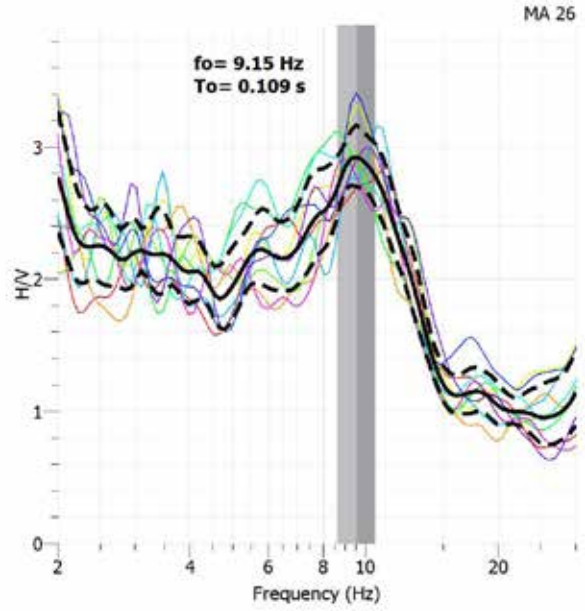
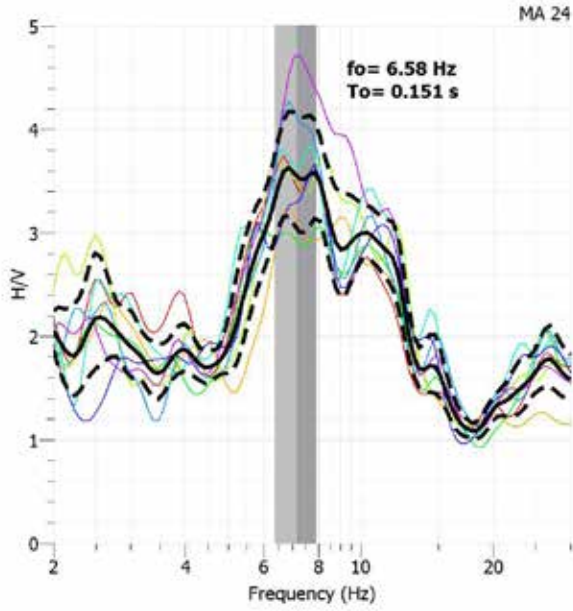


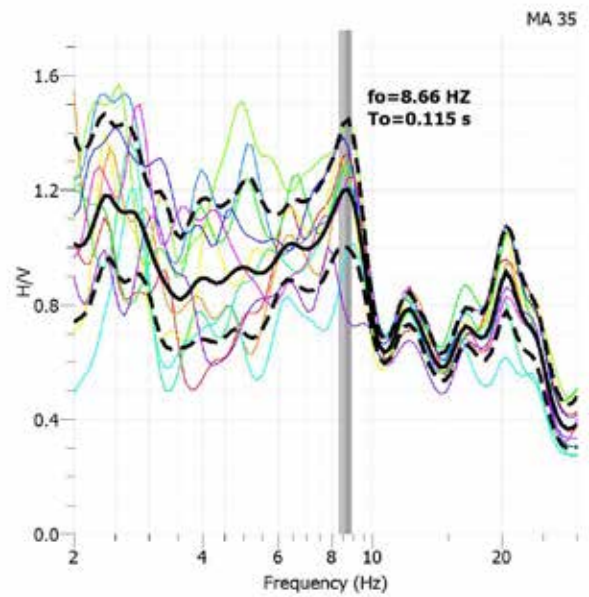
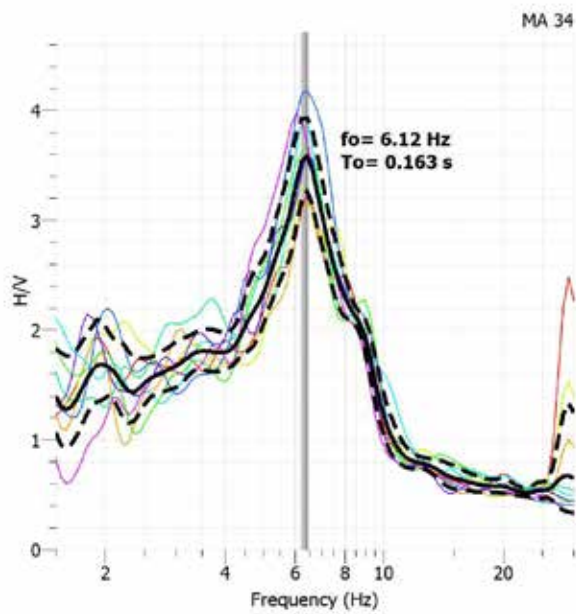
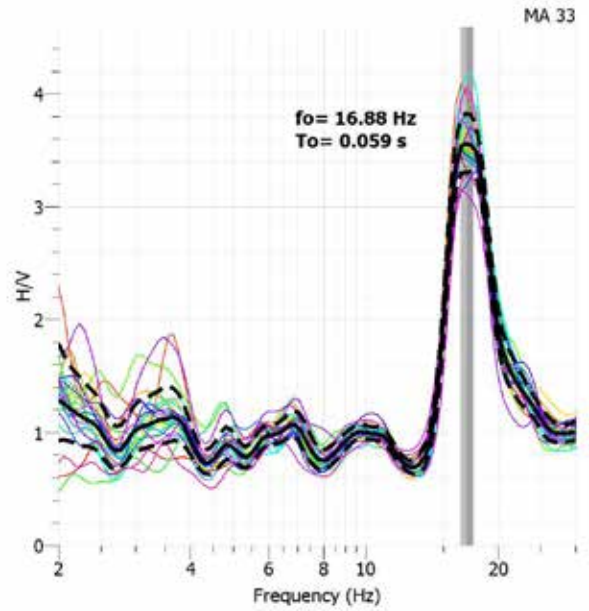
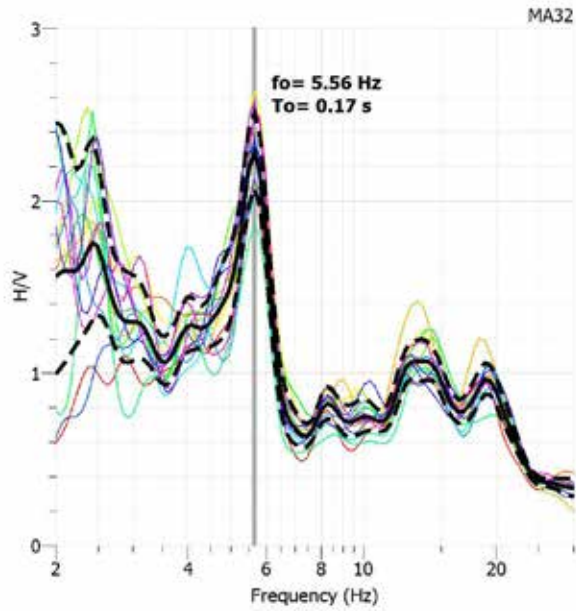


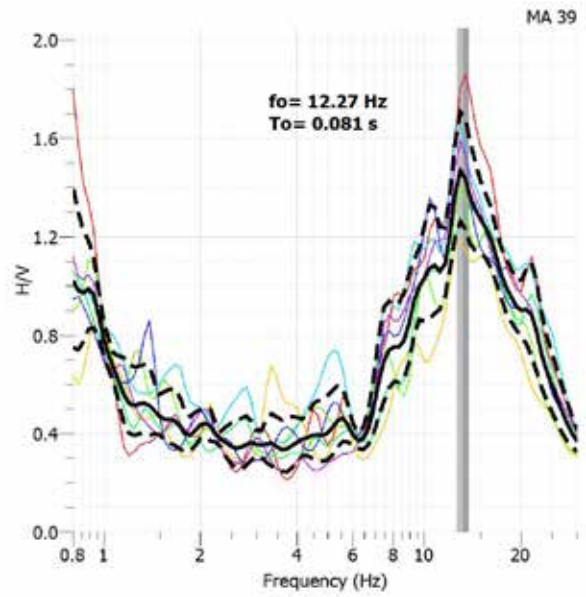
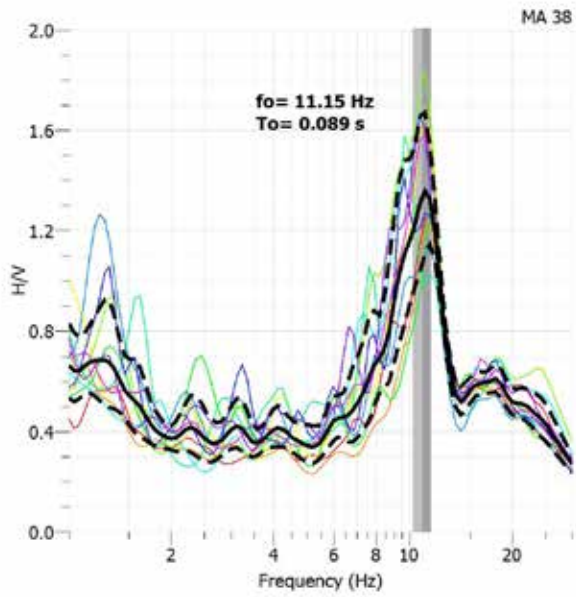
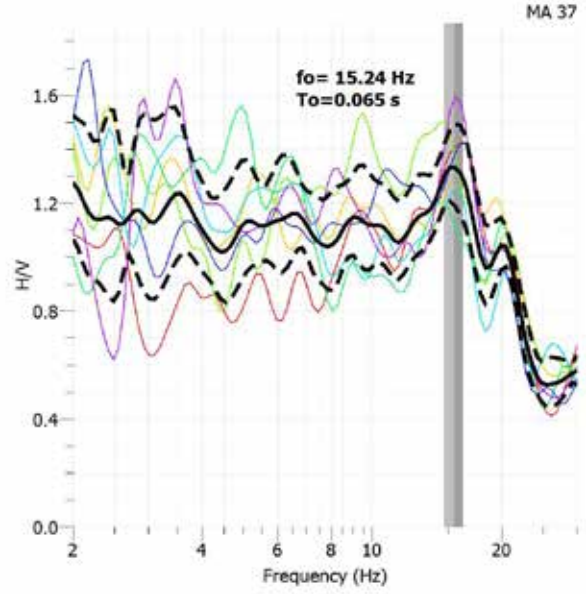


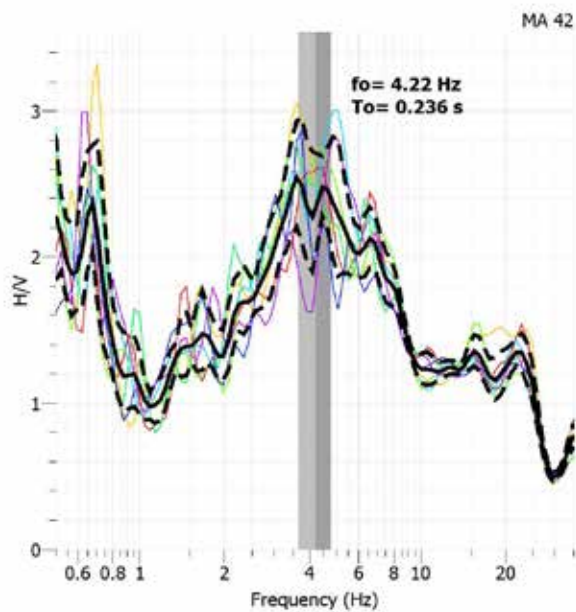
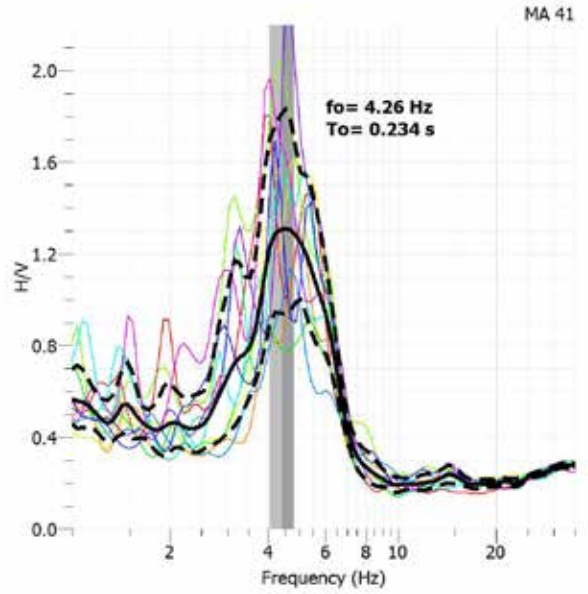
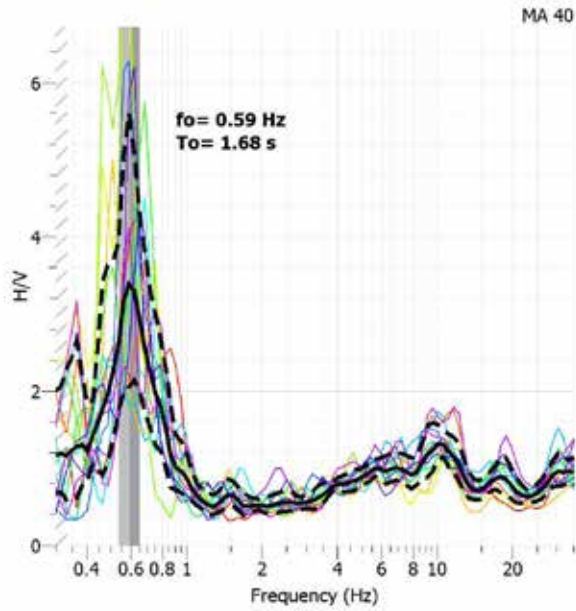












CRÉDITOS

Asesor externo

Dr. Raúl González Herrera

Director General

Ing. Geomático
Venancia López Hernández

Supervisor de Proyecto

Ing. Geólogo
Karen Michel Gil Frausto

Especialistas

CMC. Mariana Guadalupe Heredia Martínez

Ing. Geofísico
Evelyn Ramos Facio

Ing. Geofísico
Omar Velázquez Vázquez

Ing. Geofísico
Lorena Reyes Martin

Diseño e identidad visual

Lic. Silvia Berenice Lovera Salazar

