



**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE  
PREVENCIÓN DE DESASTRES

# **“EFECTO DE SITIO EN EL VALLE DE ACAMBAY, ESTADO DE MÉXICO”**

**CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES  
CENAPRED**

**CORDINACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL**

**SECRETARÍA DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN CIUDADANA**

**Elaboró:**

**Emmanuel Ramírez Álvarez**

**Jefe de Departamento de Investigación Aplicada a Riesgos Sísmicos**

**Subdirección de Riesgos Sísmicos**

**Ciudad de México, Diciembre 2018**

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía Coyoacán  
Ciudad de México, C.P. 04360, Tel. 52+(55) 5424 6100, [www.gob.mx/cenapred](http://www.gob.mx/cenapred)

*Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en*

*<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>*



## ÍNDICE

<b>ÍNDICE .....</b>	<b>2</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1 Antecedentes .....	3
1.2 Objetivos .....	4
1.3 Alcances .....	4
1.4 Localización del proyecto .....	4
1.5 Localización del proyecto .....	4
<b>2. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.....</b>	<b>6</b>
2.1 Marco geológico.....	7
2.2 Efectos de Sitio.....	8
2.3 Mediciones de Vibración Ambiental.....	9
2.4 Análisis complementarios .....	22
<b>Conclusiones .....</b>	<b>24</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>25</b>

## RESUMEN

Se presenta el análisis de los registros obtenidos durante la campaña de obtención de registros de microtemores (vibración ambiental), en el municipio de Acambay Ruíz Castañeda, Estado México en el marco de este proyecto, para conocer los posibles efectos de sitio (movimiento del suelo) que allí se generan. Estos efectos de sitio se deben incluir en los análisis para la obtención de la microzonificación sísmica del Valle de Acambay.

Para este estudio se ha recopilado información de estudios previos en la zona de estudio, realizados por diferentes investigadores (geología, geotecnia, hidrología, registros de movimientos fuerte en estaciones acelerográficas, registros de vibración ambiental). Toda la información de campo recopilada para este estudio, se comparó utilizando la información obtenida de los registros de campo, finalmente esta información sirvió para realizar un mapa de isoperíodos del suelo para la de estudios dentro del Valle del municipio de Acambay.

Los trabajos de campo consistieron en la toma de 63 registros de microtemores en distintos puntos del valle para conocer las condiciones de suelo presentes en el área, dichos trabajos se realizaron los días 09 a 14 de julio de 2018, contando con la participación de personal de Protección Civil del municipio en comento. Con esta información se obtuvieron cocientes espectrales con la técnica de Nakamura (HVNSR), y para cada punto y, con estos datos se obtuvieron los mapas de isoperíodos del Valle de Acambay.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El territorio nacional se localiza en el Cinturón Circumpacífico, en nuestro país, el choque de las placas oceánicas de Cocos y Rivera contra la placa continental de Norteamérica genera sismos de gran magnitud.

Sin embargo, aun cuando la mayor parte de los sismos fuertes se relacionan directamente con el movimiento de placas tectónicas, hay temblores menos frecuentes que ocurren en los continentes, hacia el interior de las placas (Lermo et al, 2005). En México dichos sismos ocurren a lo largo del Eje Volcánico Transversal Mexicano (EVTM). El EVTMM es un complejo geológico que según Suter et al, (1996), se presenta como una consecuencia de la subducción de nuestro país.

Los sismos que se presentan en el EVTMM son frecuentes, aunque de pequeñas magnitudes debido al sistema de fallas activas que lo conforman, pero ocasionalmente ocurren eventos de mayor magnitud como el del 19 de noviembre de 1912 en Acambay, México, el cual se estima en diferentes estudios que tuvo una magnitud  $M \approx 7$  (Singh et al 2011, Langridge, 2000 y SSN), el cual, además ocasiono cientos de víctimas fatales. Este sismo fue generado por el movimiento de la falla Acambay-Tixmadejé, perteneciente a la estructura geológicas tensionales del sitio conocida como *Graben de Acambay*. Es precisamente sobre esta estructura geológica que se encuentra localizada nuestra área de estudio.

En la actualidad, este *Graben* se encuentran centros urbanos, por lo tanto un movimiento sísmico en esta región similar al de 1912, pueden ocasionar grandes pérdidas materiales y cuantiosos daños. Por ejemplo, el municipio de Acambay de Ruíz Castañeda, y donde tuvo lugar el epicentro del sismo de 1912, ha presentado crecimiento poblacional constante, según el último censo de población y vivienda, este municipio cuenta con 60,000 habitantes (INEGI).

Por tal motivo, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y como parte del esfuerzo que realiza para tomar acciones y medidas en la mitigación de daños ocasionados por fenómenos geofísicos, propuso realizar un estudio de microzonificación sísmica del Valle de Acambay, donde se localiza la cabecera municipal y algunos de los poblados más importantes pertenecientes a este municipio.

Dicho estudio consiste en la recolección de información de estudios previos, el reconocimiento de campo, la obtención de registros de vibración ambiental (64 Puntos) y el análisis de todos los datos para la obtención de un mapa de isoperíodos del suelo.

## 1.2 Objetivos

El propósito principal de este estudio, es la realización de un mapa de isoperíodos que pueda utilizarse para obtener la microzonificación sísmica la cual pueda incluirse en los reglamentos de construcción y estudios de peligro sísmico en el valle perteneciente al municipio de Acambay de Ruíz Castañeda, Estado de México.

## 1.3 Alcances

Los alcances de este estudio se resumen en los siguientes párrafos y se muestran a continuación:

- 1) Recopilar y analizar la información tectónica, geológica, geotécnica y geofísica disponible en la literatura y de estudios previos en el área de estudio.
- 2) Obtención y análisis de registros de vibración ambiental de la zona en estudio. Para estimar los efectos de sitio, utilizando la información obtenida de los 63 registros vibración ambiental (VA) en la región de estudio.
- 3) Obtener el mapa de isoperíodos e isofrecuencias del suelo con la información de los registros de VA, que sirva como sustento para la obtención de la microzonificación sísmica.

## 1.4 Localización del proyecto

La ubicación área de estudio (polígono verde), en el municipio de Acambay en el Estado de México se muestra en la Figura 1.1. De acuerdo con la zonificación sísmica propuesta por la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2015), el sitio en estudio está ubicado en la Zona B (Figura 1.2), cuyas intensidades sísmicas resultan ser moderadas respecto al resto del país.

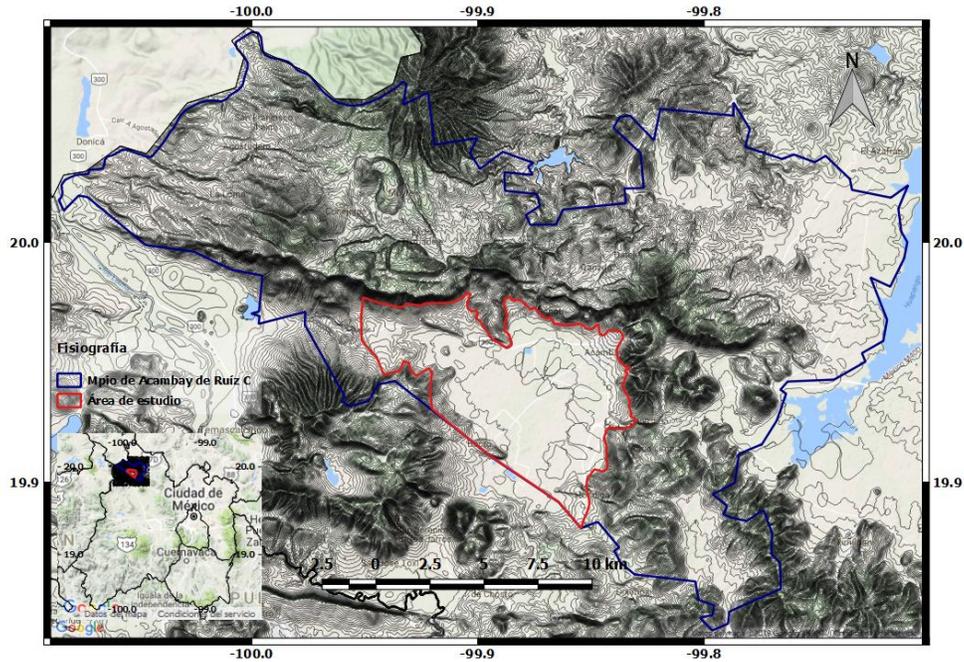
## 1.5 Localización del proyecto

La ubicación área de estudio (polígono rojo), en el municipio de Acambay en el Estado de México (polígono azul) se muestra en la Figura 1.1. De acuerdo con la zonificación sísmica propuesta por la

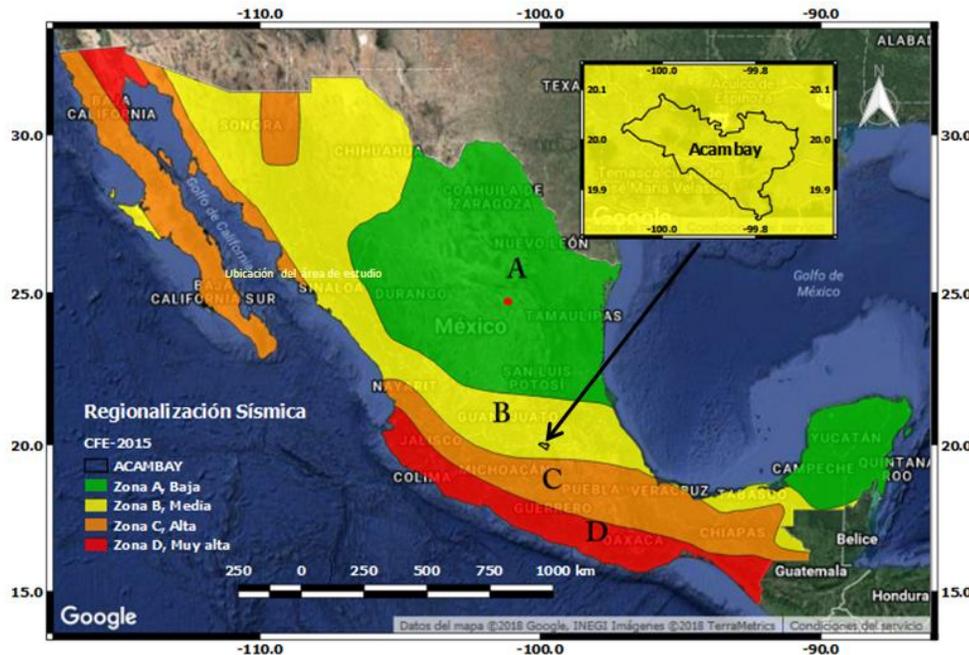
Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía Coyoacán  
Ciudad de México, C.P. 04360, Tel. 52+(55) 5424 6100, [www.gob.mx/cenapred](http://www.gob.mx/cenapred)

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en  
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>

Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2015), el sitio en estudio está ubicado en la Zona B (Figura 1.2), cuyas intensidades sísmicas resultan ser moderadas respecto al resto del país.



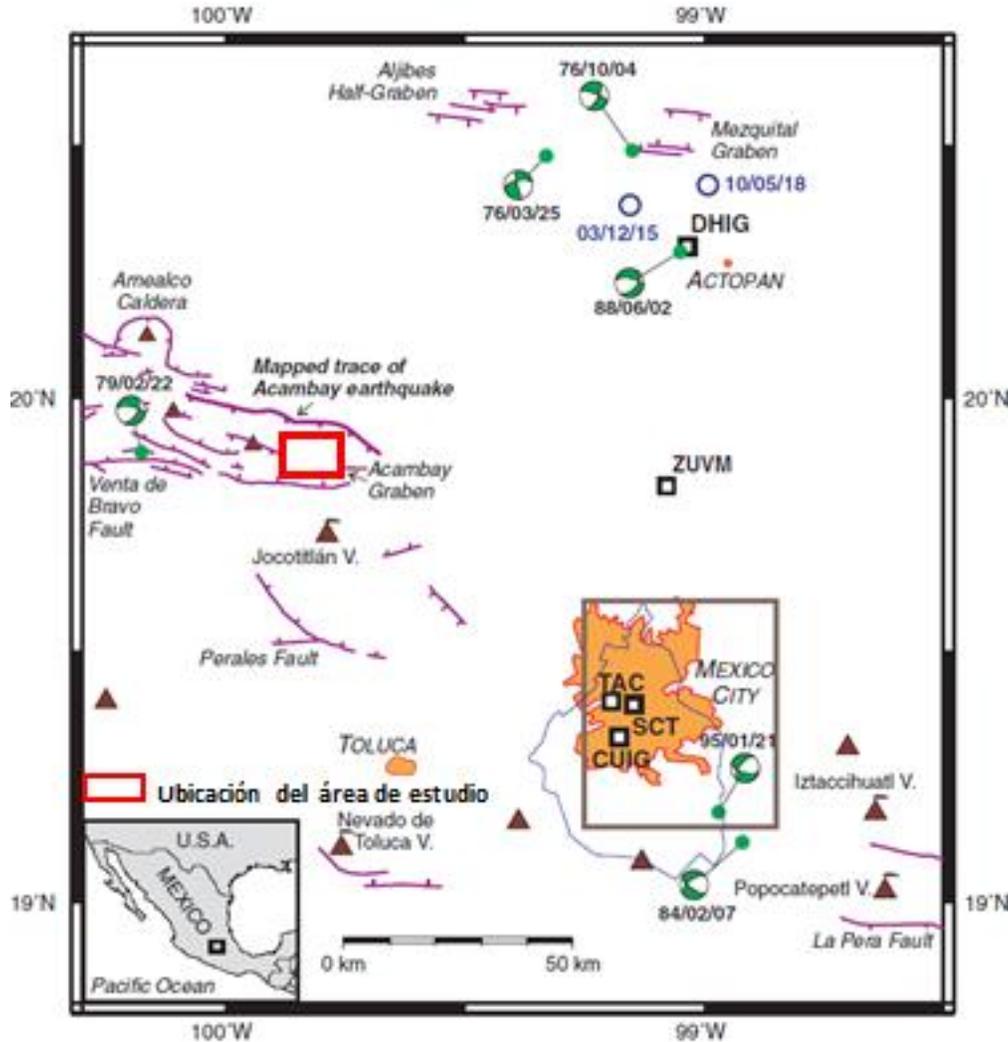
**Figura 1.1** Ubicación del área de estudio respecto al Municipio de Acambay, Estado de México.



**Figura 1.2** Ubicación del sitio en estudio respecto a la regionalización sísmica de la República Mexicana, propuesta en el MDOC-CFE 2015 (actualizar mapa).

Sin embargo, el sitio en estudio se encuentra ubicado dentro del complejo geológico conocido como el Graben de Acambay (Urbina and Camacho, 1913; Singh and Suarez, 1987), el cual forma una

cuenca y en donde se han presentado sismos fuertes, de hasta magnitud  $\approx 7.0$  como el ocurrido el 19/11/1912 (Singh et al, 2011) o el de magnitud  $\approx 5.3$  ocurrido el 22/02/1979; estos sismos están relacionados al complejo de fallas presentes dentro del mismo complejo geológico, ubicado dentro del EVT (Figura 1.3).



**Figura 1.3** Área en estudio (recuadro rojo) y su ubicación dentro del complejo geológico conocido como Graben de Acambay y también respecto a la Ciudad de México (Shing, 2011).

## 2. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.

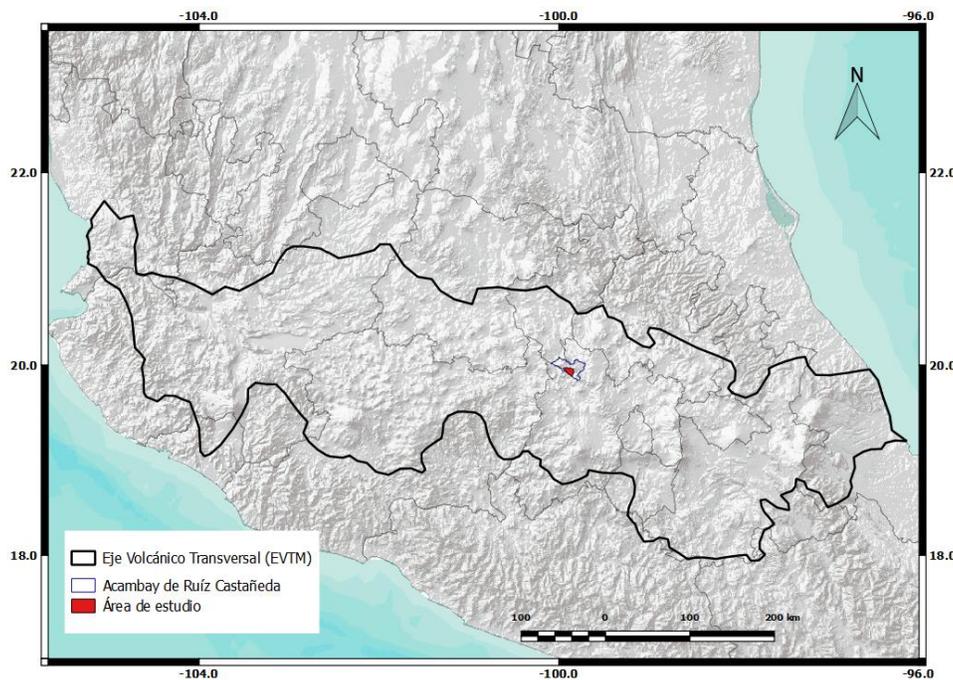
Debido a las características morfológicas del área de estudio, y su impacto en el comportamiento de los efectos de sitio, se debe recopilar la información disponible relacionada con las características geológico estructurales, geológicas, algunos aspectos geotécnicos, registros de movimientos fuertes del terreno de estaciones próximas, asimismo, se describen los trabajos en la campaña de medición de vibración ambiental (VA) realizada en el marco de este proyecto.

## 2.1 Marco geológico

El municipio de Acambay de Ruiz Castañeda se encuentra al nor-occidente del estado de México. Colinda al norte con el municipio de Aculco y con el Estado de Querétaro; al sur con los municipios de Temascalcingo, Atlacomulco y Timilpan.

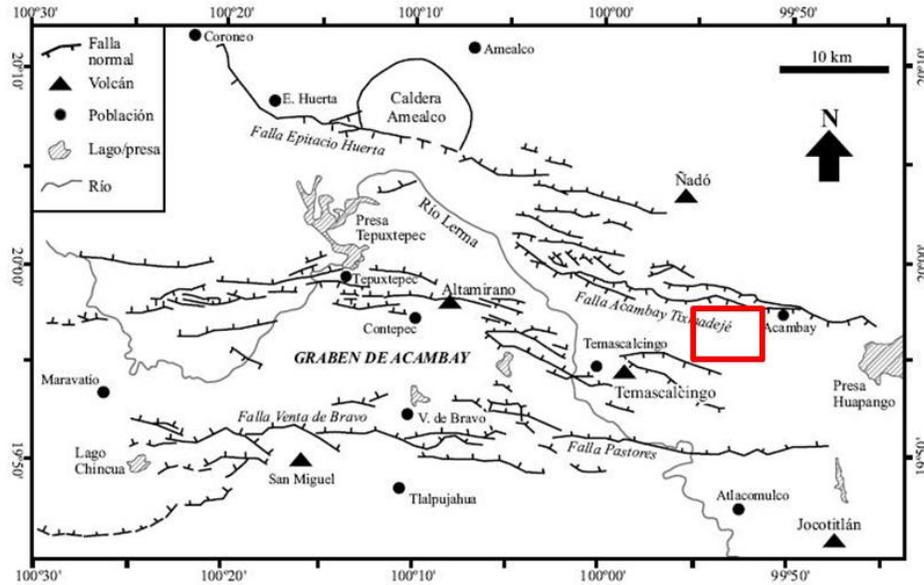
Geológicamente se encuentra ubicado dentro del complejo conocido como EVTMM (Figura 2.1). El EVTMM es un arco volcánico continental activo, mayoritariamente calcoalcalino, y con tectonismo extensional de intra-arco (Ferrari et al., 1999). Atraviesa México desde el Océano Pacífico, frente las costas de Jalisco y Nayarit, hasta el Golfo de México, en el estado de Veracruz (Pasquaré *et al.*, 1988; Wallace *et al.*, 1989; Allan et al., 1991, Aguirre-Díaz et al., 1998). Este arco volcánico es el resultado de la subducción de las placas de Cocos y de Riviera por debajo de la placa Norteamericana (Nixon, 1982; Suárez and Singh, 1986; Johnson and Harrison, 1990; Suter et al, 1991).

El área de estudio se encuentra dentro del sector central del EVTMM, el cual se caracteriza por una serie de depresiones limitadas por fallas E-W que se extienden distancias de 450 km aproximadamente (Suter et al., 1995). Dentro de esta zona se encuentra el sistema de fallas Patzcuaro-Morelia Acambay. En la zona más oriental de este sistema, las fallas Venta de Bravo y Pastores, junto a la de Epitacio Huerta y la de Acambay-Tixmadejé, forman el graben de Acambay (Figura 2.2).

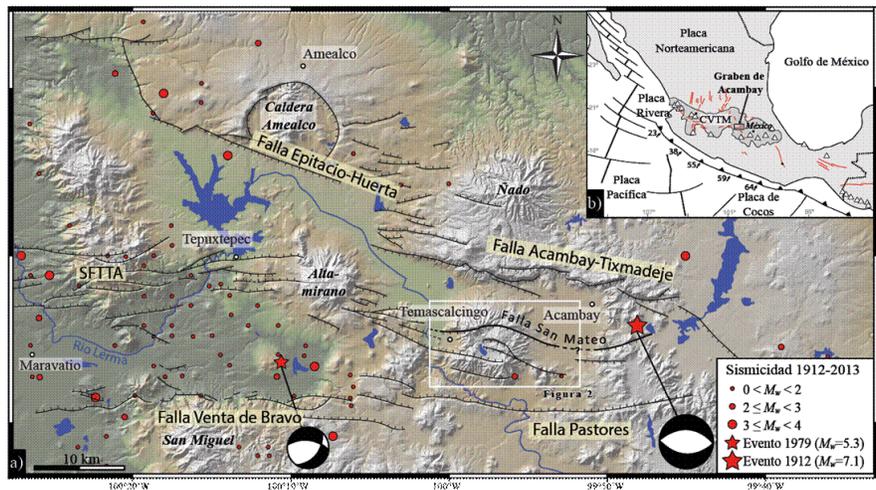


**Figura 2.1** Eje Volcánico Transversal Mexicano (EVTMM).

En actividad sísmica en el EVTMM, es frecuente debido al sistema de fallas activas que lo conforman, por tal motivo se han registrado algunos sismos fuertes, como el ocurrido en 1912 de  $M_s \approx 7.0$  en Acambay (Singh et al, 2011), el sismo ocurrido en 1920 de  $M_s \approx 6.2$  en Xalapa y el de 1979 de  $m_b = 5.3$  en Maravatio, por citar algunos ejemplos (Figura 2.3).



**Figura 2.2** Mapa estructural del graben de Acambay en donde se ilustran las fallas principales y localización de los volcanes en la zona (Suter *et al.*, 1995).



**Figura 2.3** Actividad sísmica en el graben de Acambay (Sunye-Puchol *et al.*, 2015).

## 2.2 Efectos de Sitio

Por efectos de sitio se entiende, en este estudio, a las modificaciones que sufren las ondas sísmicas por la presencia de depósitos blandos en el área de estudio. Para la obtención del efecto de sitio se debe considerar la geología local, los estudios y análisis de vibración ambiental, además se deben realizar modelos del suelo con información proveniente del estudio de mecánica de suelos y de estudios geofísicos.

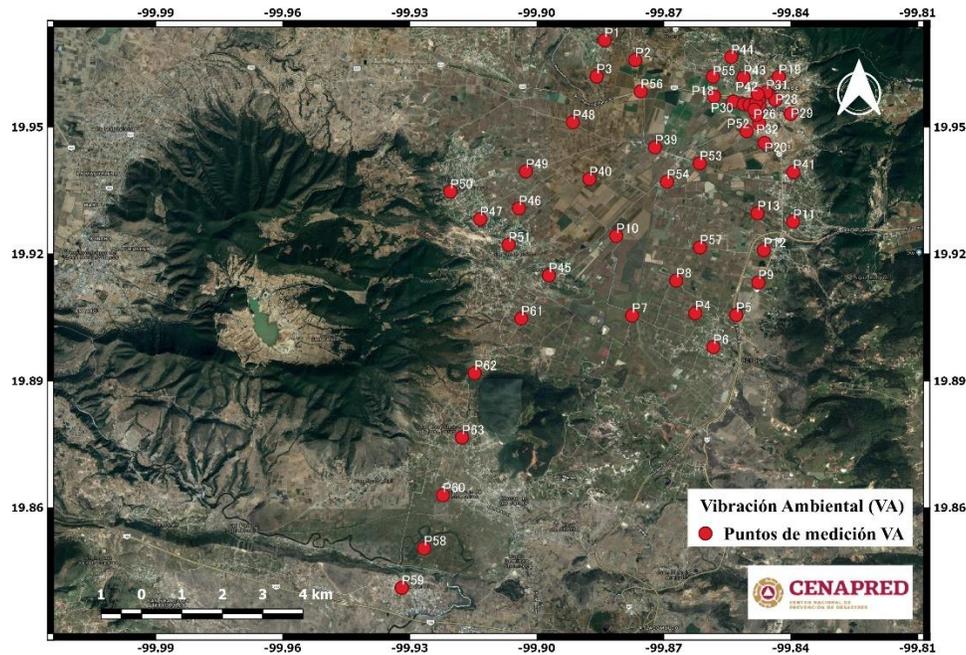
De estos análisis, se obtienen parámetros muy importantes como el periodo fundamental de vibrar del suelo y el incremento o amplificación del movimiento sísmico que se puede presentar en el sitio

para dicho periodo fundamental, estos datos del suelo son de gran importancia durante los análisis y reglamentación con fines constructivos a nivel local.

### 2.3 Mediciones de Vibración Ambiental

Para estimar los efectos de sitio mediante la técnica de cocientes espectrales (H/V), usando registros de ruido sísmico (Lermo *et al.*, 1994), se realizaron mediciones en 63 puntos con duración de 2 horas cada uno en promedio los días 09 a 14 de julio de 2018, distribuidos estratégicamente dentro del valle de Acambay, utilizando sismómetros digitales sensibles a la velocidad GURALP 6TD. Estos equipos cuentan con un deck triaxial interno con sensores sensibles a la velocidad. La orientación de los sensores horizontales del aparato de registro fue elegida de tal forma que la componente transversal (T) coincidiera con la dirección Este-Oeste (EW) y la componente longitudinal (L) se orientó en dirección Norte-Sur (NS).

En la Figura 2.4 se muestra la ubicación de cada uno de los puntos de medición, en la Figura 2.5 se muestran algunas fotografías de los sitios donde se realizaron los registro de vibración ambiental (VA).



**Figura 2.4** Ubicación de los 63 puntos donde se tomaron registros de vibración ambiental del suelo.

#### Resultados

En la Tabla 2.1 se indican los nombres de los archivos y los resultados tanto en frecuencia (Hz), como en periodo (s), también se muestran las coordenadas (Latitud y Longitud) para cada uno de los puntos donde se realizaron la adquisición de datos de VA.

Día 1, Punto 2



Día 2, Punto 6



Día 3, Punto 17



Día 4, Punto 29



Día 5, Punto 51



Día 6, Punto 57



**Figura 2.5** Fotografías de algunos puntos donde se tomaron registros y equipo empleado en la medición de vibración ambiental del suelo (Sismómetros Guralp 6TD).



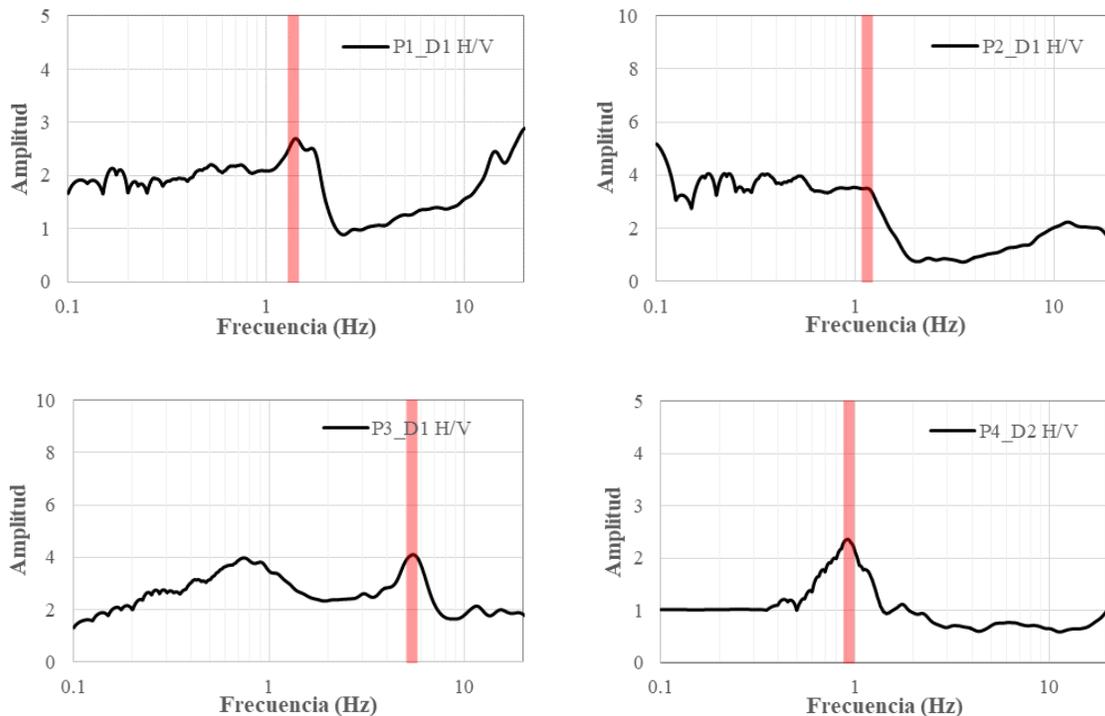
**Tabla 2.1** Datos y resultados obtenidos de los registros de vibración ambiental.

Punto	Longitud	Latitud	Fecha	Frecuencia (Hz)	Periodo (s)
P1	-99.8840	19.9705	Día 1, 09/07/18	1.35	0.74
P2	-99.8767	19.9658	Día 1, 09/07/19	1.15	0.87
P3	-99.8859	19.9620	Día 1, 09/07/20	5.40	0.19
P4	-99.8626	19.9060	Día 2, 10/07/18	0.93	1.08
P5	-99.8529	19.9056	Día 2, 10/07/18	11.00	0.09
P6	-99.8583	19.8980	Día 2, 10/07/18	12.00	0.08
P7	-99.8775	19.9054	Día 2, 10/07/18	2.35	0.43
P8	-99.8671	19.9137	Día 2, 10/07/18	1.15	0.87
P9	-99.8476	19.9133	Día 2, 10/07/18	4.50	0.22
P10	-99.8812	19.9243	Día 2, 10/07/18	0.81	1.23
P11	-99.8394	19.9276	Día 2, 10/07/18	9.50	0.11
P12	-99.8463	19.9209	Día 2, 10/07/18	2.80	0.36
P13	-99.8479	19.9296	Día 2, 10/07/18	1.10	0.91
P14	-99.8490	19.9551	Día 3, 11/07/18	0.92	1.09
P15	-99.8488	19.9551	Día 3, 11/07/18	0.92	1.09
P16	-99.8489	19.9549	Día 3, 11/07/18	0.90	1.11
P17	-99.8489	19.9550	Día 3, 11/07/18	0.90	1.11
P18	-99.8581	19.9572	Día 3, 11/07/18	1.30	0.77
P19	-99.8428	19.9619	Día 3, 11/07/18	10.00	0.10
P20	-99.8462	19.9463	Día 3, 11/07/18	1.50	0.67
P21	-99.8491	19.9551	Día 3, 11/07/18	0.95	1.05
P22	-99.8487	19.9551	Día 3, 11/07/18	0.91	1.10
P23	-99.8488	19.9547	Día 3, 11/07/18	0.90	1.11
P24	-99.8485	19.9553	Día 3, 11/07/18	0.94	1.06
P25	-99.8494	19.9551	Día 3, 11/07/18	0.70	1.43
P26	-99.8487	19.9545	Día 3, 11/07/18	0.94	1.06
P27	-99.8474	19.9552	Día 4, 12/07/18	0.90	1.11
P28	-99.8436	19.9564	Día 4, 12/07/18	1.05	0.95
P29	-99.8400	19.9531	Día 4, 12/07/18	1.75	0.57
P30	-99.8536	19.9560	Día 4, 12/07/18	1.05	0.95
P31	-99.8458	19.9582	Día 4, 12/07/18	1.00	1.00
P32	-99.8475	19.9509	Día 4, 12/07/18	1.05	0.95
P33	-99.8511	19.9554	Día 4, 12/07/18	0.95	1.05
P34	-99.8475	19.9567	Día 4, 12/07/18	1.00	1.00
P35	-99.8481	19.9528	Día 4, 12/07/18	1.00	1.00
P36	-99.8497	19.9552	Día 4, 12/07/18	0.95	1.05
P37	-99.8482	19.9557	Día 4, 12/07/18	0.99	1.01
P38	-99.8486	19.9541	Día 4, 12/07/18	0.90	1.11
P39	-99.8720	19.9452	Día 4, 12/07/18	0.70	1.43
P40	-99.8876	19.9377	Día 4, 12/07/18	1.10	0.91
P41	-99.8394	19.9394	Día 4, 12/07/18	5.70	0.18
P42	-99.8478	19.9578	Día 5, 13/07/18	0.85	1.18
P43	-99.8511	19.9617	Día 5, 13/07/18	1.10	0.91
P44	-99.8541	19.9666	Día 5, 13/07/18	8.60	0.12
P45	-99.8971	19.9149	Día 5, 13/07/18	12.00	0.08
P46	-99.9042	19.9308	Día 5, 13/07/18	2.25	0.44
P47	-99.9134	19.9283	Día 5, 13/07/18	8.00	0.13
P48	-99.8915	19.9511	Día 5, 13/07/18	1.00	1.00

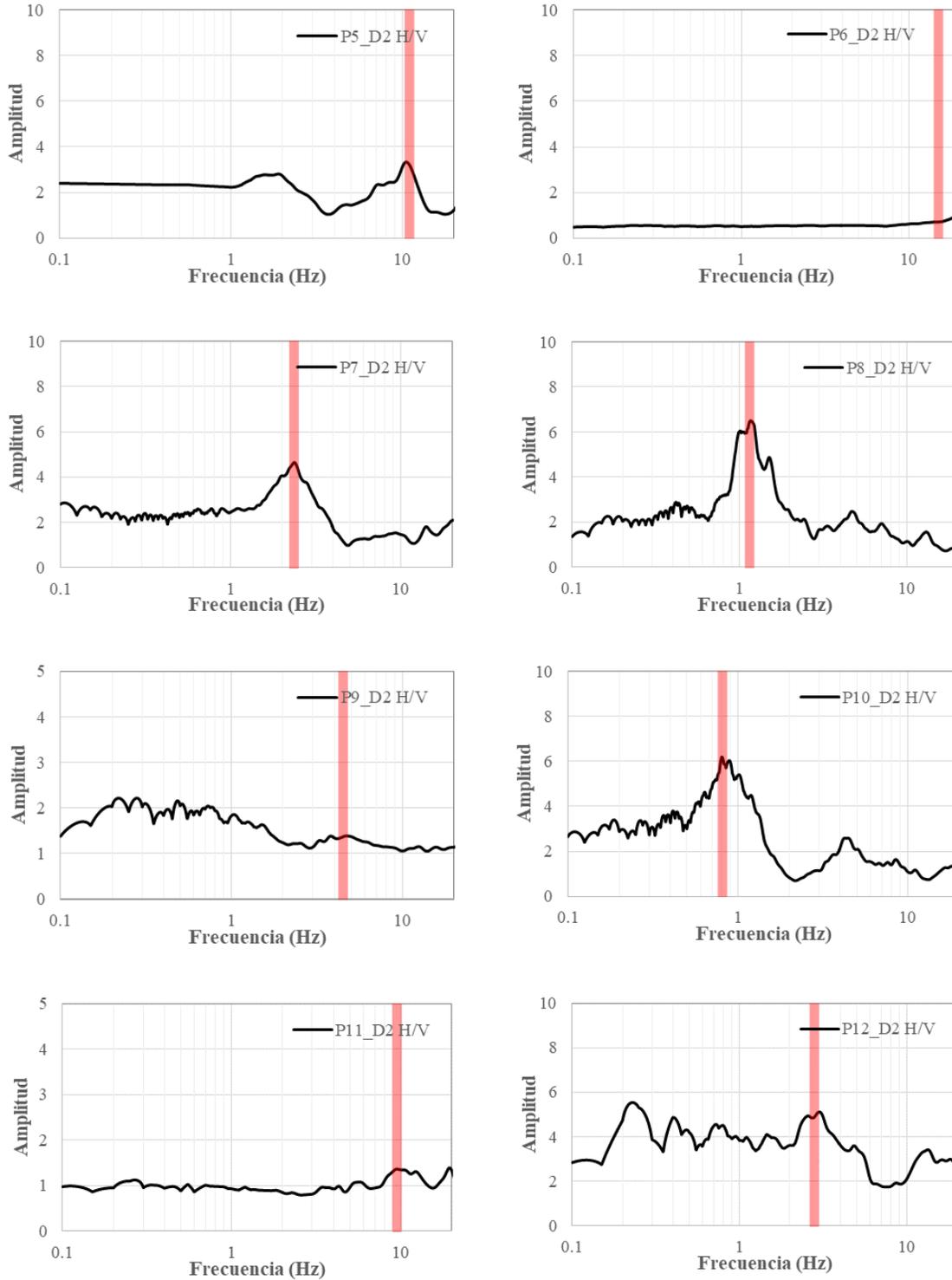
**Tabla 2.1** Continuación...

Punto	Longitud	Latitud	Fecha	Frecuencia (Hz)	Periodo (s)
P49	-99.9026	19.9396	Día 5, 13/07/18	1.20	0.83
P50	-99.9204	19.9348	Día 5, 13/07/18	14.00	0.07
P51	-99.9067	19.9222	Día 5, 13/07/18	5.50	0.18
P52	-99.8504	19.9490	Día 5, 13/07/18	0.99	1.01
P53	-99.8615	19.9414	Día 5, 13/07/18	0.60	1.67
P54	-99.8692	19.9371	Día 5, 13/07/18	0.50	2.00
P55	-99.8584	19.9619	Día 6, 14/07/18	1.50	0.67
P56	-99.8754	19.9584	Día 6, 14/07/18	1.15	0.87
P57	-99.8614	19.9216	Día 6, 14/07/18	0.92	1.09
P58	-99.9266	19.8504	Día 6, 14/07/18	0.65	1.54
P59	-99.9319	19.8411	Día 6, 14/07/18	2.10	0.48
P60	-99.9222	19.8630	Día 6, 14/07/18	0.58	1.72
P61	-99.9037	19.9048	Día 6, 14/07/18	2.20	0.45
P62	-99.9147	19.8919	Día 6, 14/07/18	2.69	0.37
P63	-99.9177	19.8766	Día 6, 14/07/18	0.85	1.18

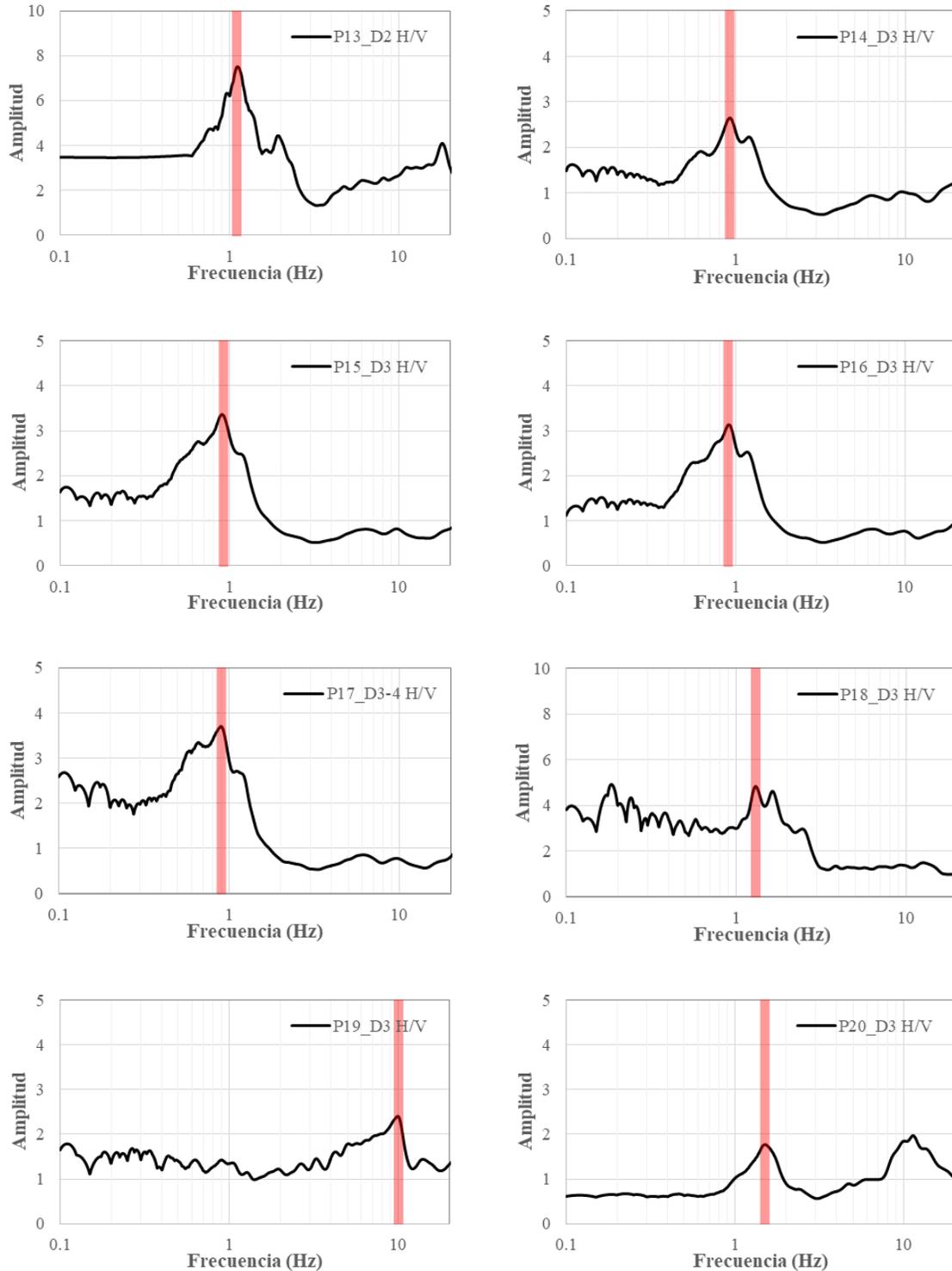
Las funciones de transferencia obtenidas para cada uno de los puntos de medición se muestran en las Figuras 2.6 a 2.13. En cada una de ellas se grafican cocientes espectrales H/V para cada punto, *D*, hace referencia al día de la toma del registro en campo. Cada curva es el resultado de promediar cocientes espectrales a partir de las señales completas y con ventanas de 40 s y, en color rojo grueso la frecuencia promedio del suelo (efecto de sitio) para cada punto.



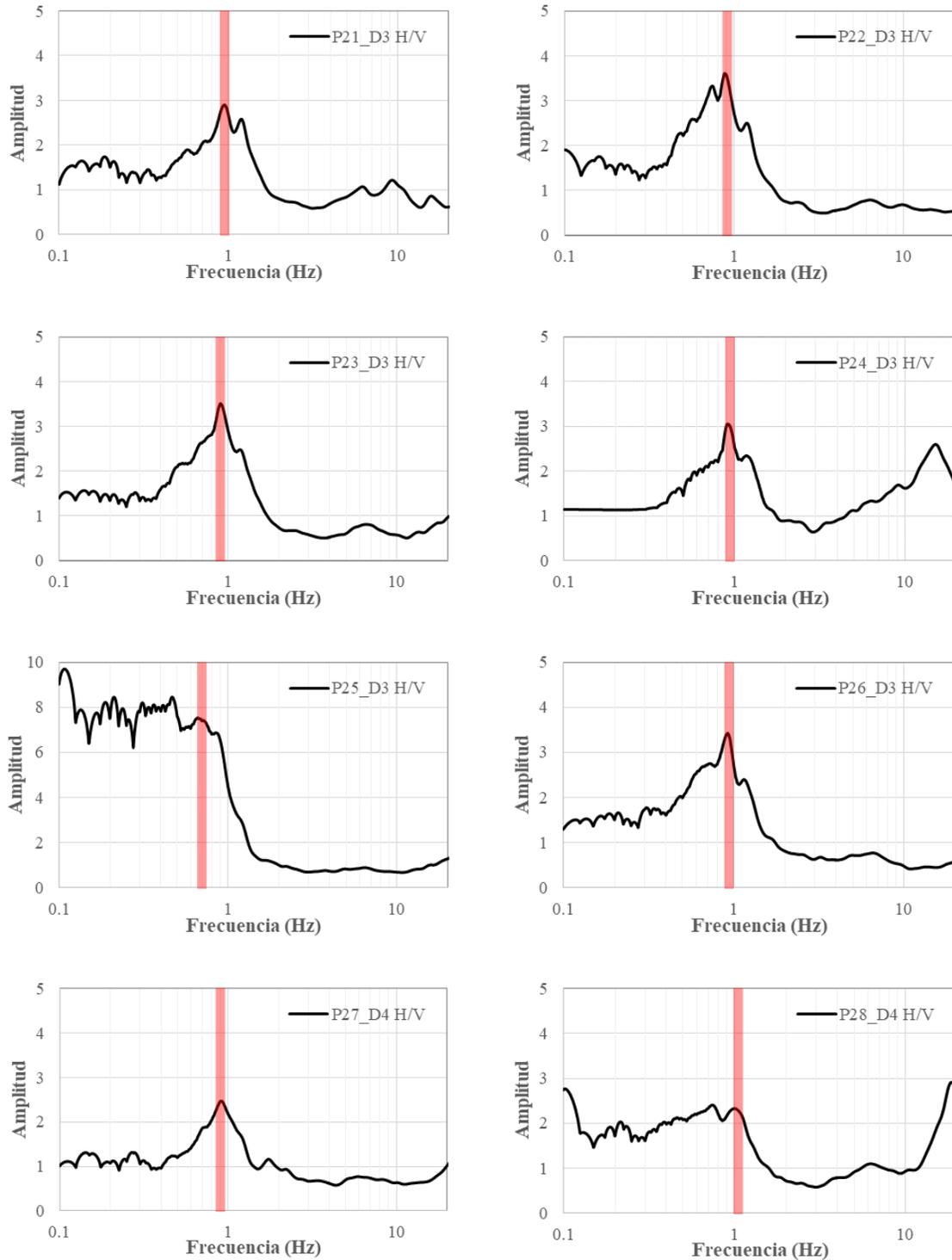
**Figura 2.6** Cocientes espectrales H/V del Punto 1 a 4 (D- Día).



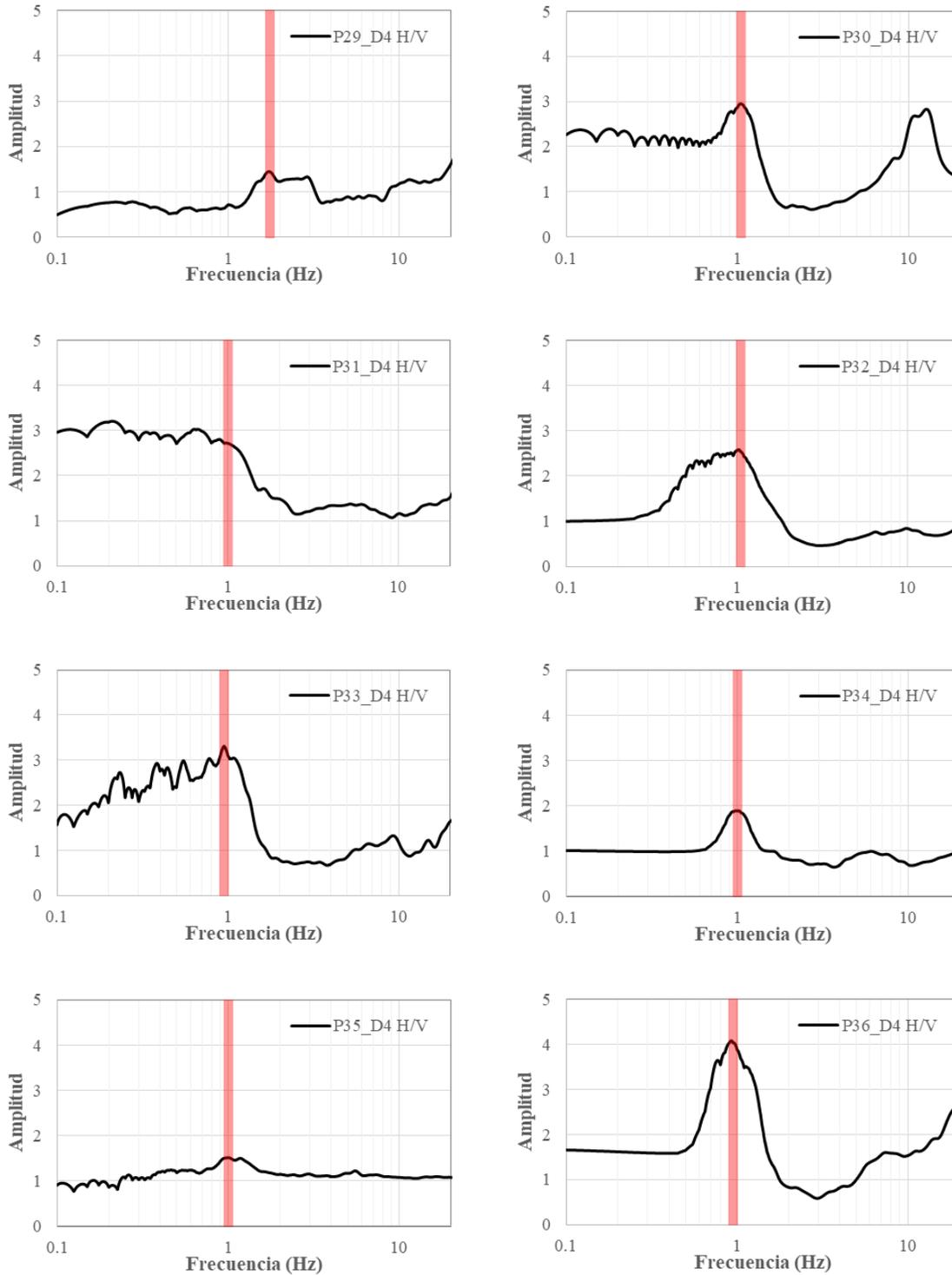
**Figura 2.7** Cocientes espectrales H/V del Punto 5 a 12 (D- Día).



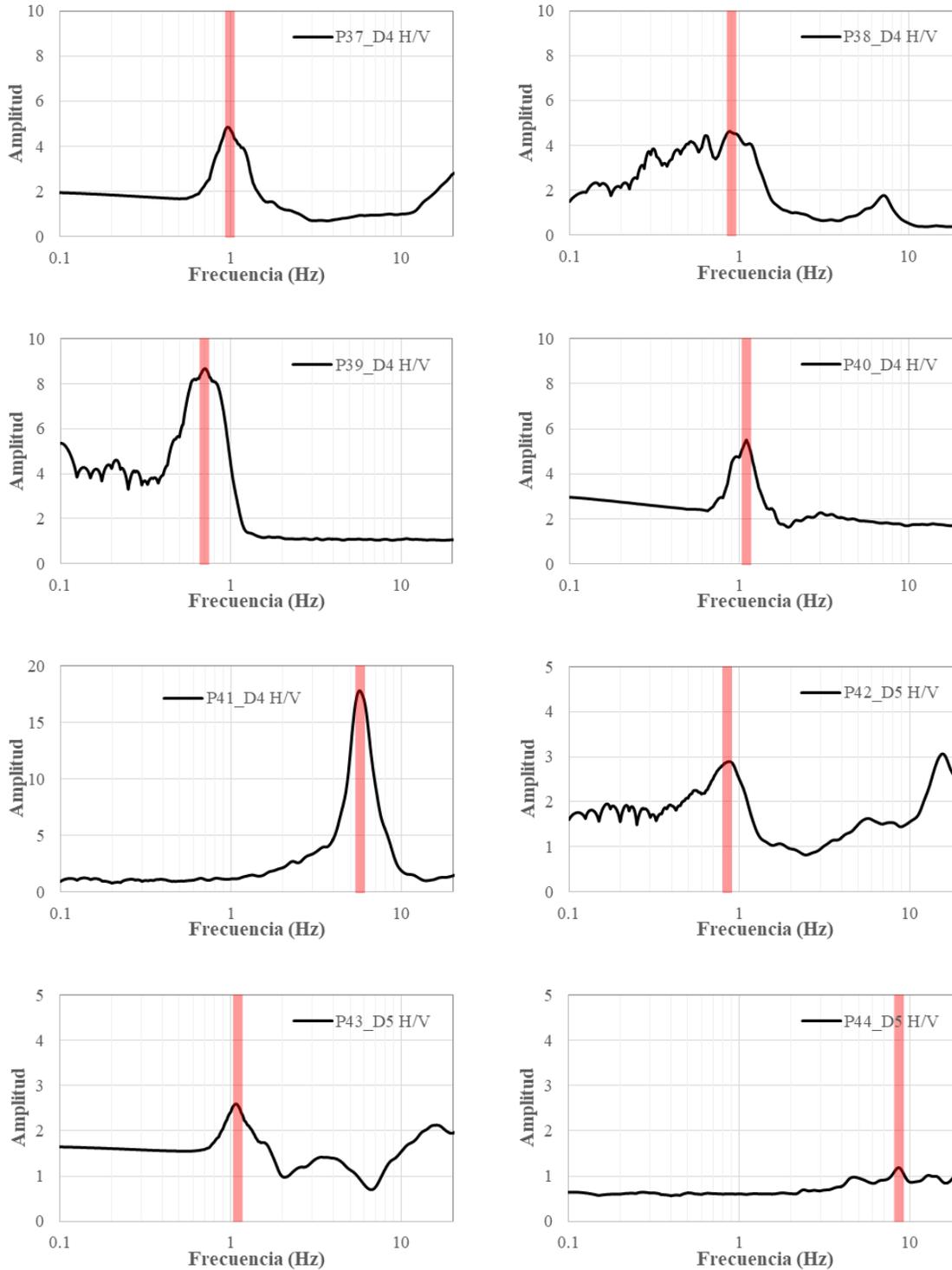
**Figura 2.8** Cocientes espectrales H/V del Punto 13 a 20 (D- Día).



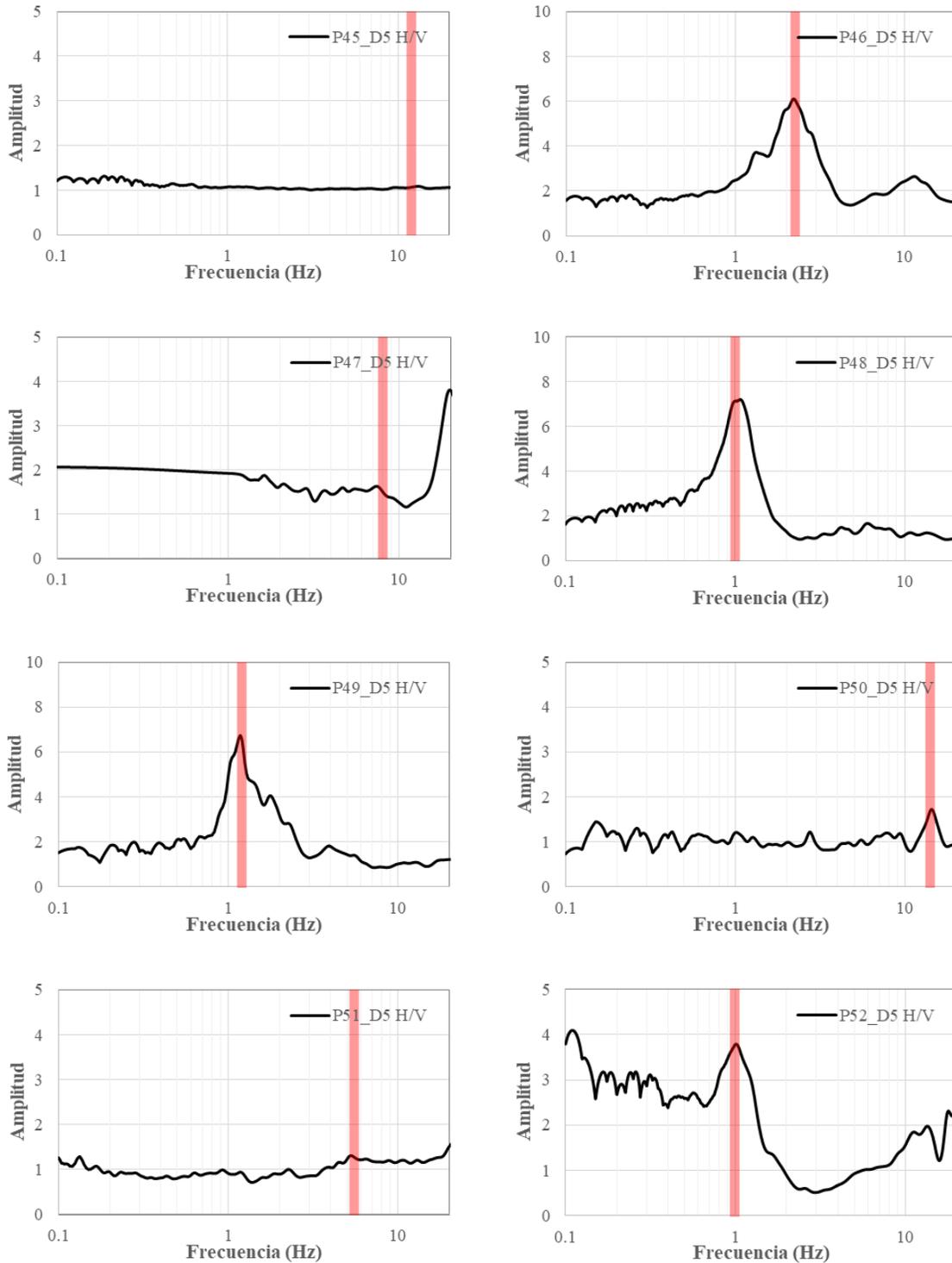
**Figura 2.9** Cocientes espectrales H/V del Punto 21 a 28 (D- Día).



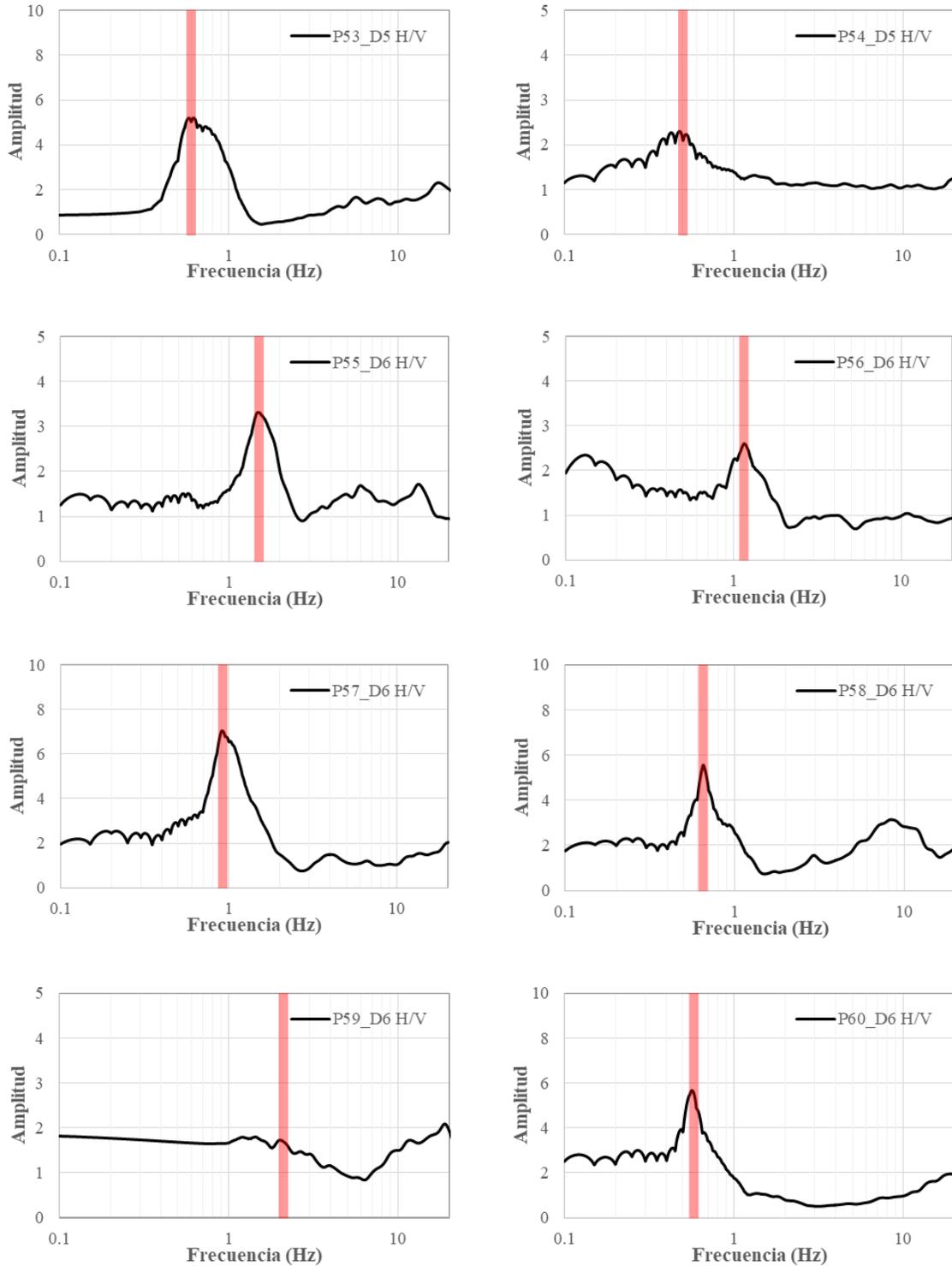
**Figura 2.10** Cocientes espectrales H/V del Punto 29 a 36 (D- Día).



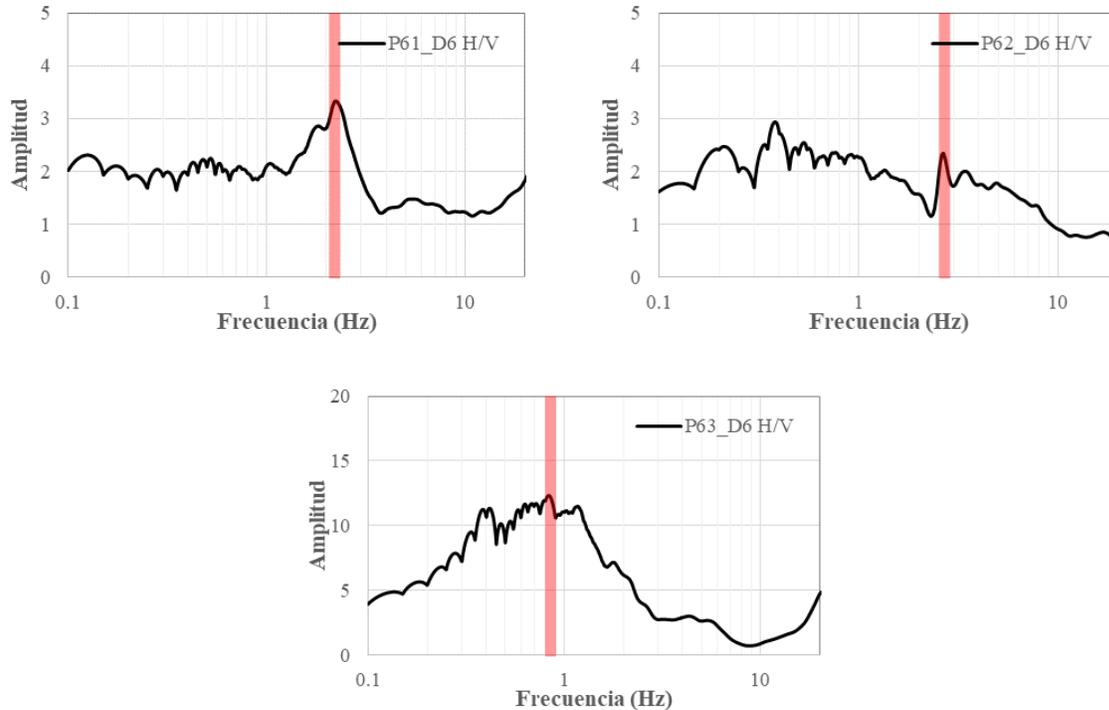
**Figura 2.11** Cocientes espectrales H/V del Punto 37 a 44 (D- Día).



**Figura 2.12** Cocientes espectrales H/V del Punto 45 a 52 (D- Día).



**Figura 2.13** Cocientes espectrales H/V del Punto 53 a 60 (D- Día).

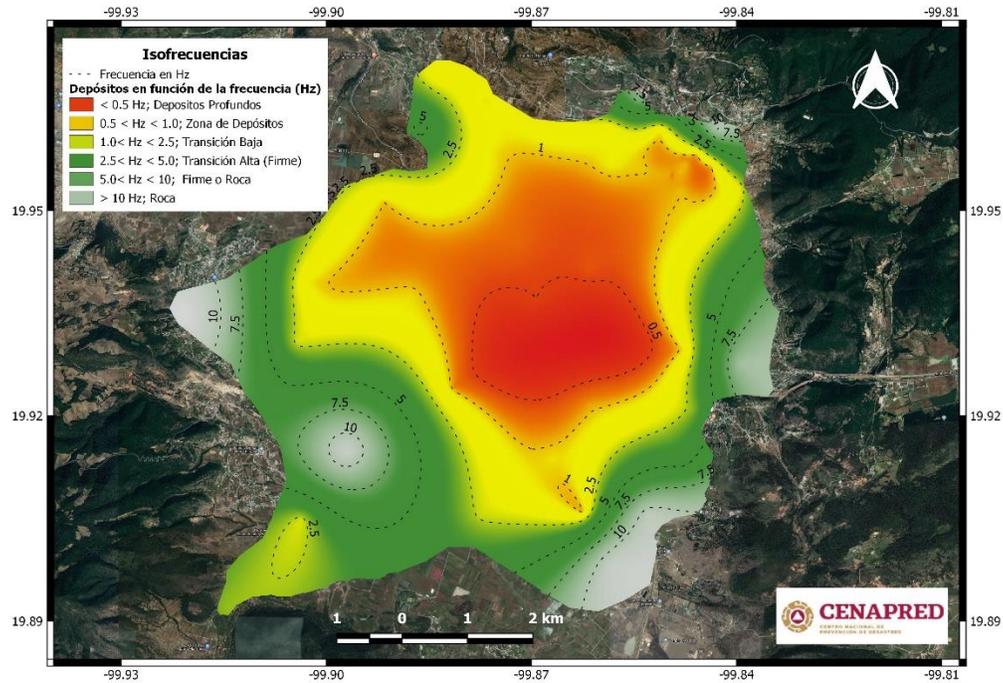


**Figura 2.13** Cocientes espectrales H/V del Punto 61 a 63 (D- Día).

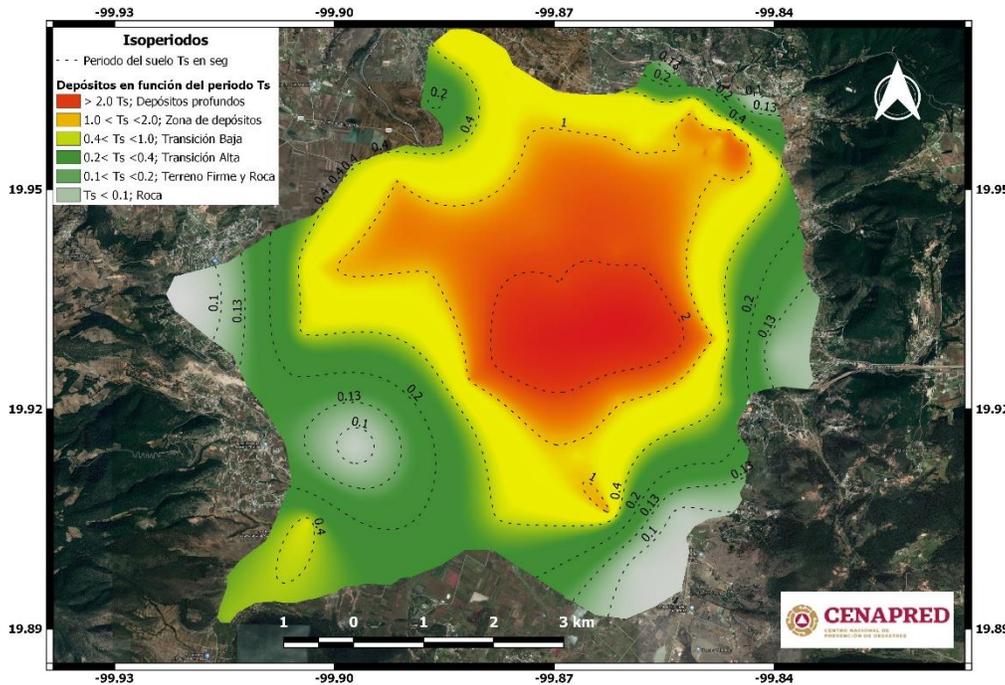
Con las mediciones realizadas y el análisis descrito, se obtuvieron datos de frecuencia (Hz) y periodo (s) para cada punto, esta información se usó para generar mapas que representan los efectos de sitio en el área de estudio en términos de los parámetros antes mencionados para cada punto utilizando el método geoestadístico Kriging ordinario y se muestran en las figuras 2.14 y 2.15.

En estos resultados se observa de forma bien definida de las zona de Firmes, Transición y Deposito, las cuales coinciden con las zonas donde están las lomas, el pie de monte y planicie aluvial y que concuerdan con los dado que los cocientes espectrales entre 0.1 a 10 Hz. Para la zona Firme se tienen respuestas casi planas en los cocientes H/V. En tanto que para los depósitos de Transición se observa un máximo espectral entre 1 y 5 Hz. Finalmente, las zonas de depósito presentan máximos espectrales por debajo de 1 Hz. La información muestra que, la transición hacia los depósitos de suelo es rápida, encontrándose cambios significativos en una distancia muy corta.

Los resultados de este análisis utilizando la información de los registros de vibración ambiental muestran aproximadamente la frecuencia y el periodo dominante del suelo (efectos de sitio) que se encuentran en el sitio de interés. Estudios recientes de esta técnica, han demostrado que solo las mediciones durante periodos largos de tiempo brindan un buen estimador de la frecuencia y amplitud del movimiento; sin embargo, se ha visto que los valores de frecuencia obtenidos mediante esta técnica presentan dispersiones que pueden llegar a ser del orden de 30%. De aquí que para estimar los efectos de sitio se deben realizar adicionalmente análisis alternos, tales como la elaboración de modelos a partir de los estudios de mecánica de suelos y geofísica.



**Figura 2.14** Mapa de Isofrecuencias (Hz) y su relación con las zonas geotécnicas y los efectos de sitio en el valle de Acambay.



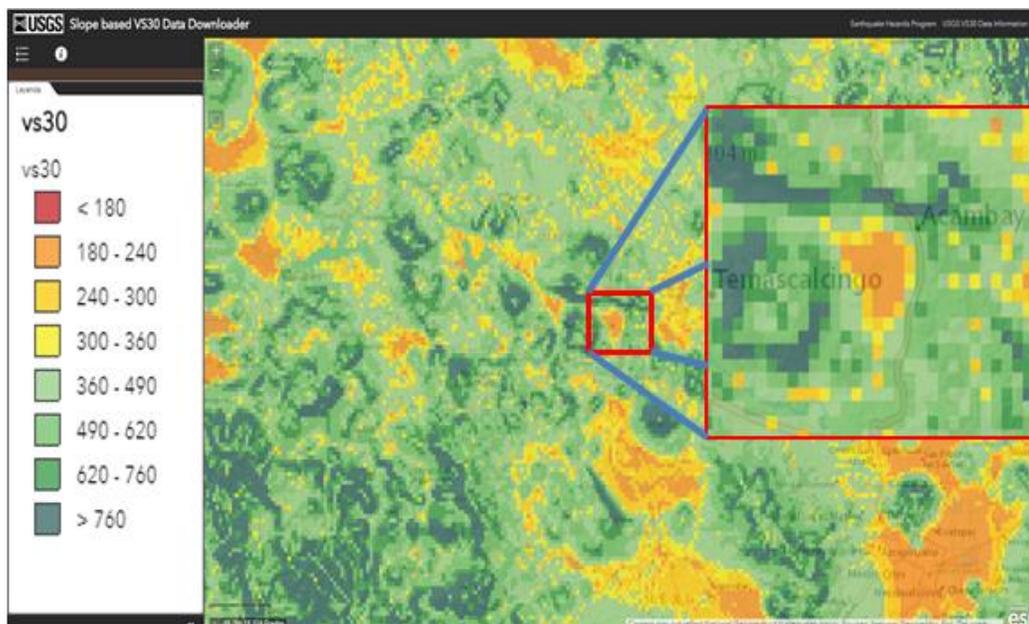
**Figura 2.15** Mapa de Isoperiodos (segundos) y su relación con las zonas geotécnicas y los efectos de sitio en el valle de Acambay.

## 2.4 Análisis complementarios

Una forma alternativa y menos puntual para identificar los posibles efectos de sitio en valles aluviales es el mapa de velocidades  $V_{S30}$  del suelo (Allen, T.I. *et.al*, 2008), publicados en el portal del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Los mapas de velocidades  $V_{S30}$  aproximadas (Figura 2.16), el cual, toma en consideración la relación que existe entre la pendiente topográfica y las condiciones geológicas del sitio, tales como, las zonas de depósito, las zonas de transición y las zonas firmes.

El método de pendiente topográfica, proporciona una evaluación robusta de primer orden de las condiciones sísmicas del suelo en el sitio y será una herramienta valiosa en la evaluación rápida de las zonas que tendrán mayor influencia en el movimiento del suelo debido a un evento sísmico. (Allen, T.I. *et.al*, 2008), a partir de la relación de la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) y el mapa de pendientes, asumiendo que las zonas de depósito son las partes más planas de un valle aluvial.

En la Tabla 2.2 se muestran los valores típicos del parámetro  $V_{s30}$ , como un criterio para la clasificación de suelos y, que de acuerdo a estudios recientes sobre el comportamiento del suelo y el comportamiento de las estructuras, y que se considera como el promedio de profundidad donde se presentan los mayores efectos de sitio que pueden afectar en mayor medida a las estructuras emplazadas sobre una determinada área o región. Figura 2.17 se muestra el mapa de velocidades  $V_{S30}$  para el valle de Acambay obtenidos con los datos del USGS, estas velocidades  $V_s$  pueden correlacionarse directamente con un mapa de microzonificación sísmica y geotécnica. Además, en la Figura 2.18 se muestra una imagen en 3D, donde se observa claramente que las velocidades más bajas son hacia el centro del valle, siendo el lugar donde se esperan que los estratos de suelo sean más potentes o de mayor espesor.



**Figura 2.16** Mapa de velocidades  $V_{S30}$  en el valle de Acambay (cuadro rojo)

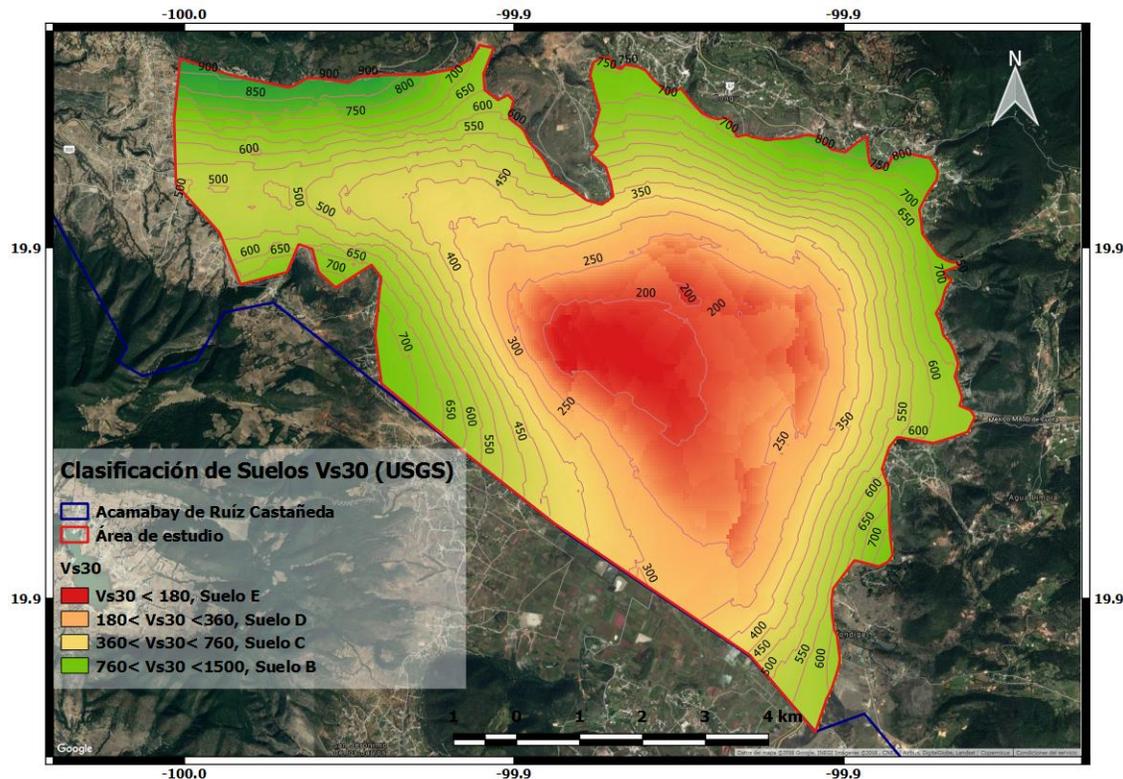
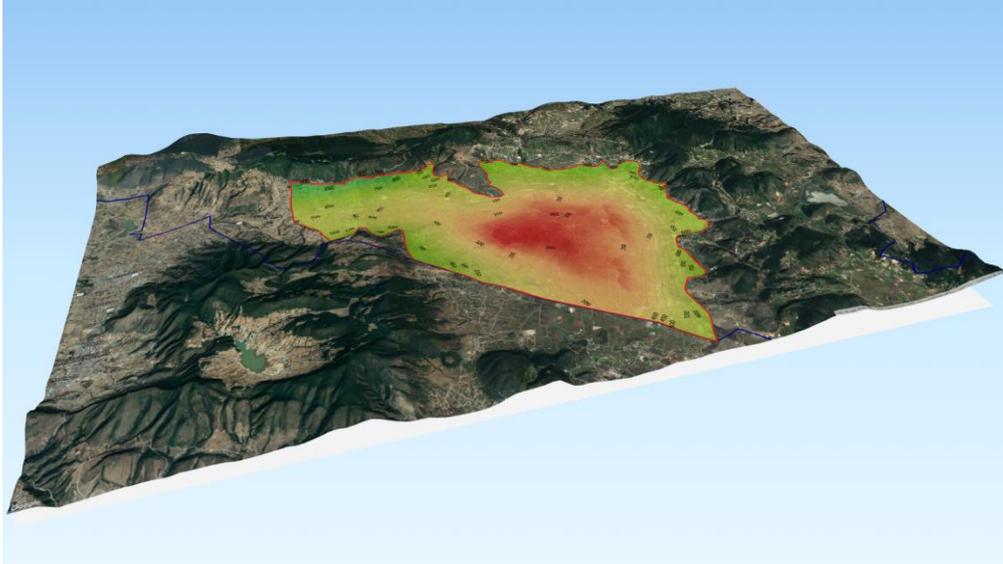


Figura 2.17 Clasificación Vs30 del suelo en el valle de Acambay

Tabla 2.2 Tipos de suelo según el parámetro Vs30

Clasificación del sitio	Tipo de suelo	Vs30
A	Roca dura	$Vs30 > 1500$
B	Roca	$760 < Vs30 < 1500$
C	Roca suave y/o suelo denso	$360 < Vs30 < 760$
D	Suelo Firme	$180 < Vs30 < 360$
E	Suelo Blando	$Vs30 < 180$



**Figura 2.18** Mapa 3D con isovalores de velocidad Vs30 del suelo en el valle de Acambay

## Conclusiones

Debido a las características geomorfológicas del área de estudio, y su posible impacto en el comportamiento del suelos durante la ocurrencia de un sismo, se recopiló la información disponible relacionada con las características geológicas, geológico estructurales, algunos aspectos geotécnicos y se realizó una campaña de medición de 63 puntos, para la obtención de registros vibración ambiental (VA).

Se observó que los limites la zona de Terreno Firme (Lomas) y Transición, se encuentra con valor de  $T_s = 0.5$  seg, mientras que de Transición a zonas de Deposito, se encuentra con valor de  $T_s = 1.0$  seg.

La zona con los períodos dominantes máximos (Zonas de depósitos) corresponden a materiales Cuaternarios Holoceno aluvial, (Qho al), que se caracteriza por ser de origen aluvial formado por arcillas y contenido significativo de arenas, gravas y fragmentos de roca.

La zona de terreno firme coincide con las zonas de pendiente mediana y fuerte, en esta zona se encuentran en su mayoría los asentamientos urbanos.

Finalmente, se presenta una propuesta de mapa de iguales periodos del valle de Acambay, la cual se debe tomar en consideración para ser implementada en reglamentos de construcción dentro del Valle y para la microzonificación sísmica del valle, la cual se deberá complementar con información de otros estudios exploratorios en la zona de análisis.

Adicionalmente con el método de pendiente topográfica, proporciona una evaluación robusta de las condiciones sísmicas del suelo en el sitio y será una herramienta valiosa en la evaluación rápida del movimiento del suelo, y donde se puede observar que para el Valle de Acambay se pueden alcanzar

velocidades  $V_{S30} < a$  180 m/s y, estos parámetros concuerdan con los datos obtenidos con el estudio de vibración ambiental VA.

## Referencias

**Allen, T.I., and Wald, D.J., 2007**, *Topographic slope as a proxy for global seismic site conditions ( $V_{S30}$ ) and amplification around the globe*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1357, 69 pp.

**Alvarado, D., y Valdebenito, G., 2015**. *Microzonificación Sísmica en Zonas de Geología Compleja. Evaluación del Peligro Sísmico Local en Valdivia, Chile*. XI Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Sísmica ACHISINA 2015. Santiago de Chile. Chile.

**Garduño-Monroy, V., Pérez-Lopez, R., Israde-Alcantara, I., Rodríguez-Pascua, M., Szykarak, E., Hernández-Madrigal, V., García-Zepeda, M., Corona-Chávez, P., Ostroumov, M., 2009**, *Paleoseismology of the southwestern Morelia-Acambay fault system, central Mexico*, *Geofísica Internacional* 48 (3), 319-335 (2009).

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

**Lermo, J. y Ishizawa, O., 2005**. “*Estimación de la peligrosidad de la ruptura de uno de los sistemas de fallas del graben de Acambay, México*”. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica IX Jornadas, 1619 de noviembre de 2005, Concepción Chile.

**Langridge, R. M. et al., 2000**. “*Paleoseismology of the 1912 Acambay earthquake and the Acambay-Tixmadej fault, Trans-Mexican Volcanic Belt*”, Journal of Geophysical Research, Vol. 105, No. B2, Pages 3019-3037, February 10, 2000.

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

**Ortuño, M., Zúñiga, F.R., Aguirre-Díaz, G., Carreón-Freyre, D., Cerca, M., Roverato, M., 2014**, *Holocene paleo- earthquakes recorded at the transfer zone of two major faults: The Pastores and Venta de Bravo faults (Trans-Mexican Volcanic Belt)*, *Geosphere* 2015;11;160-184.

**Singh, S. K. et al., 2011**. “*Estimation of Ground Motion in Mexico City from a Repeat of the M~7.0 Acambay Earthquake of 1912*”, BSSA, Vol. 101, No. 5, 2015–2028, 2011.

**Sunye-Puchol, I., Lacan, P., Ortuno, M., Villamor, P., Audin, L., Zúñiga, F.R., Langridge, R.M., Aguirre-Díaz, G.J., Lawton, T.F., 2015**. *La falla San Mateo: nuevas evidencias paleosismológicas de fallamiento activo en el graben de Acambay, México*: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 32, núm. 3, p. 361-376.

**Zúñiga, F.R., Suarez, G., Figueroa, A., Mendoza, A., 2016**, *A first-order seismotectonic regionalization of Mexico for seismic hazard and risk estimation*. DOI 10.1007/s10950-017-9666-0.