



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

Microzonificación Sísmica Con Enfoque Para La Gestión Integral De Riesgos

Alejandra Robles Mendoza
30/01/2019

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México.
Tel: 52+55 5424 6100, 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>
Página 1 de 34



2020
AÑO DE
LEONA VICARIO
BENEMÉRITA MADRE DE LA PATRIA



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

Índice

Antecedentes

Introducción

Objetivo

Metodología

Ruido sísmico

Correlaciones de ruido sísmico y Función de Green

Caso municipio de Benito Juárez

Marco geológico

Resultados

Caso El Cuchillo, Nuevo León

Marco geológico

Resultados

Conclusiones y Recomendaciones

Referencias

Anexo A





Antecedentes

A partir de la sismicidad que se registró en los alrededores del municipio de Benito Juárez, Ver., en el periodo del julio-octubre del 2018, se instaló una red de sismológica con el objetivo de registrar algún sismo importante que se generara en la zona. Al igual en la región de la presa El Cuchillo se presentó un sismo el 18 de marzo de 2014 de magnitud 4.2 que dio pie a que hiciera una campaña de adquisición de datos sísmicos con el apoyo de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en la que instaló 12 estaciones uniaxiales móviles. En esa campaña se logró registrar 87 sismos, los cuales fueron localizados por personal del CENAPRED.

Introducción

Objetivo

Obtener la aceleración del suelo, mediante el factor de transferencia roca-suelo, basado en el modelo de velocidades Vs30 para cuencas sedimentarias y valles aluviales.

Metodología

Ruido sísmico

El ruido sísmico es formado por fuentes que se encuentran cerca de la superficie. De acuerdo con Lay y Wallace (1995) el origen del ruido sísmico puede ser por fuentes internas (fallas sísmicas, movimiento de magma, exploración minera, etc), fuentes externas (viento, oleaje y mareas, ruido cultural, entre otros) y fuentes mixtas (erupciones volcánicas, deslizamientos, avalanchas). El ruido sísmico sobre largos periodos, así como la coda de un sismo se comporta como un campo difuso, el cual puede ser originado por difracciones múltiples, tanto como por la heterogeneidad del medio y/o por un conjunto de fuentes no relacionadas entre si (Sánchez-Sesma et al., 2007). El flujo neto de energía es nulo en un campo difuso, las ondas inciden en todas las direcciones con la misma intensidad y las fases son aleatorias.



Correlaciones de ruido sísmico y Función de Green

El promedio azimuthal de correlación cruzada entre dos puntos, en el mismo intervalo de tiempo, sujetos a un campo difuso permite la recuperación de la función de Green. La correlación cruzada mide el grado de similitud entre dos señales y se puede emplear para extraer información que dependa de las correlaciones cruzadas, en este caso recuperar la función de Green. Si se tiene dos series temporales que llamamos $f(t)$ y $g(t)$, la correlación cruzada $C(\tau)$ está definida por la siguiente ecuación:

$$C(\tau) = f(t) * g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t + \tau) dt$$

Donde t es el tiempo, τ es el tiempo que se desplaza $g(t)$ con respecto a $f(t)$, el siguiente esquema representa la obtención de la función de Green (figura 1).

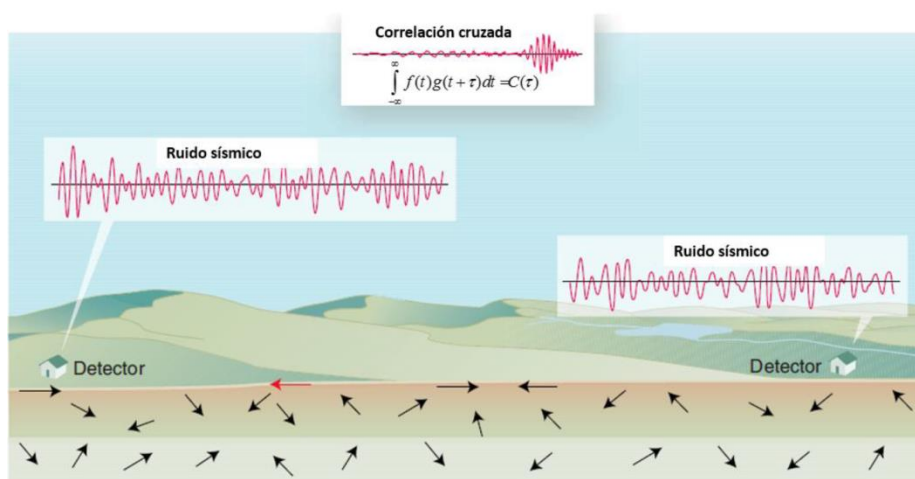


Figura 1. Campo de ondas registrado por dos detectores y aplicación de correlación cruzada sobre un periodo de tiempo largo para la recuperación de la Función de Green

La función de Green caracteriza a la estructura, es decir, es la respuesta del medio ante una fuerza impulsiva, si se conoce la función de Green permite predecir el comportamiento del suelo cuando se originan diferentes perturbaciones. La función de Green empírica se expresa en el dominio del espacio y tiempo. El desplazamiento se define de la función de Green en elastodinámica $G_{ij}(x,t)$, la cual describe la i -ésima



componente del desplazamiento en un punto x , resultado de la fuerza F aplicada en el punto x_0 en dirección j . Por lo que el desplazamiento se expresa como:

$$u_i(x, t) = G_{ij}(x, t; x_0, t_0) F_j(x_0, t_0),$$

Donde u es el desplazamiento, F es el vector de las fuerza de cuerpo, y G es la función de Green elastodinámica, F representa a la función de la fuente sísmica. De acuerdo con Sánchez-Sesma y Campillo (2006) se puede expresar la función de Green G_{xy} de la siguiente forma:

$$G_{xy}(\tau) = \sum_{n=1}^{\infty} u_n(x) u_n(y) \frac{\sin \omega_n \tau}{\omega_n} \text{ para } \tau > 0$$

Los subíndices de la ecuación anterior, indican la propagación de x a y , de la función de Green de los dos registros de desplazamiento. La fuerza F es una función que ahora se obtiene de correlacionar las dos amplitudes modales y se mantiene un retraso negativo τ , por lo que el valor del retraso debe ser mayor a cero (Valderrama, 2018).

La Función de Green puede ser recuperada de manera experimental mediante el promedio de la correlación cruzada de un campo elástico difuso e isótropo, a través del ruido sísmico o codas de eventos sísmicos (Campillo y Paul, 2003; Shapiro y Campillo, 2004 y Shapiro et al., 2005). El campo de ondas de ruido sísmico frecuentemente no se encuentra distribuido homogéneamente, esto hace que las correlaciones cruzadas presenten asimetría lo que pone en evidencia la localización en donde se tiene un mayor aporte de las fuentes de ruido (figura 2). Aunque la condición heterogénea de las fuente de ruido sísmico viola el principio de equipartición se puede extraer la función de Green, debido a que gran cantidad de las fuentes de ruido sísmico se encuentran cerca de la superficie (Snieder, 2004; Kedar et al., 2008).



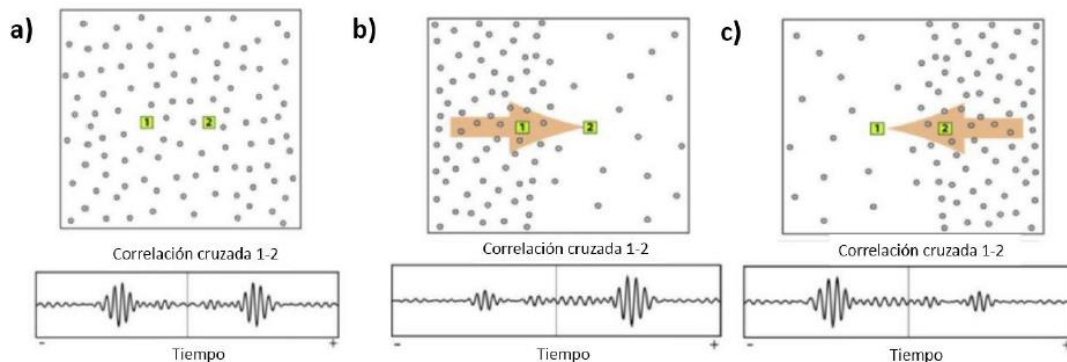


Figura 2. Esquema que representa la distribución de las fuentes para la correlación en dirección 1 a 2, en las Funciones de Green obtenidas a partir del promedio de correlaciones cruzadas de ruido sísmico: a) distribución homogénea e isotropa del ruido sísmico, lo cual resulta una correlación simétrica, b) y c) distribución heterogénea y anisótropa de las fuentes de ruido por lo que la correlación refleja la localización del mayor aporte de fuentes. (Tomada de Valderrama, 2018).

Esta metodología se aplicó en los datos obtenidos en los municipios de Benito Juárez, Veracruz y El Cuchillo en el estado de Nuevo León.

Caso municipio de Benito Juárez

Las Localidades de Benito Juárez, Ver., con coordenadas latitud $20^{\circ}53'8.31''N$ y longitud $98^{\circ}12'24.55''O$ (figura 3), se encuentra ubicado dentro de la cuenca de Chicontepec. En el periodo de julio-octubre de 2018 se registraron algunos sismos de baja magnitud de acuerdo a reportes del Servicio Sismológico Nacional (SSN) y que fueron percibidos por la población de localidades cercanas.

En la tabla 1 se muestra la localización de los equipos que fueron instalados por personal del CENAPRED.



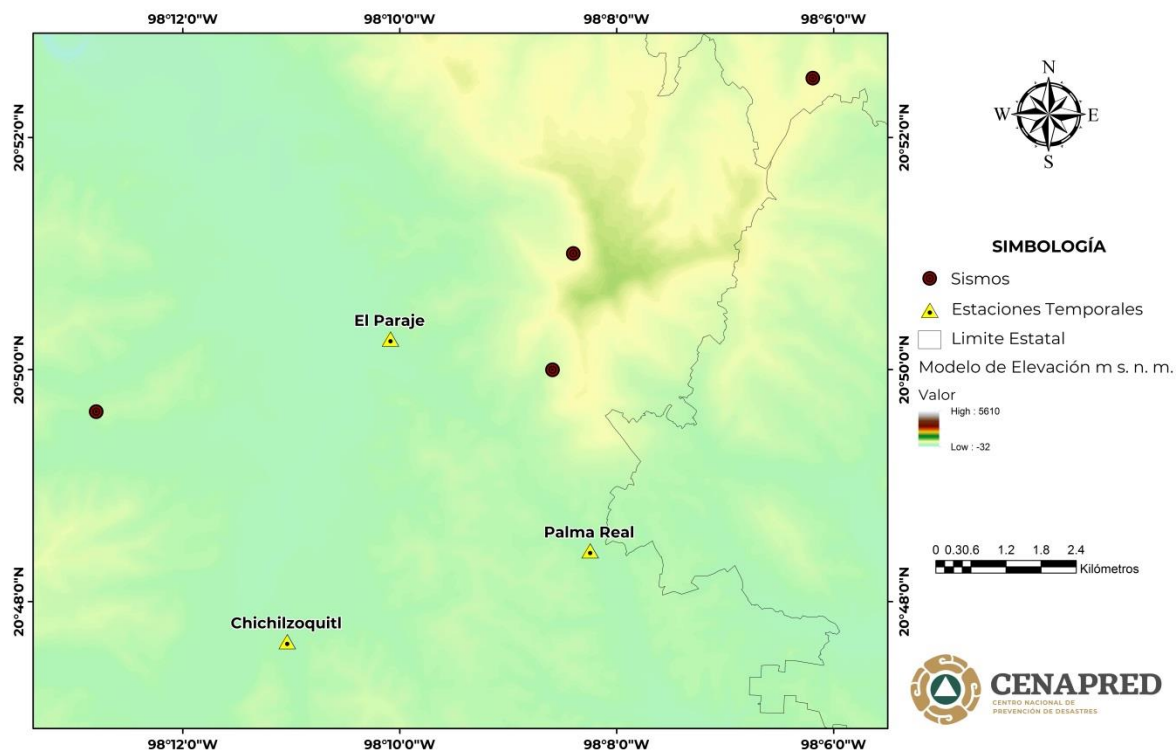


Figura 3. Ubicación de los equipos instalados así como de los tres sismos registrados por el servicio sismológico nacional

Tabla 1. Localización de los equipo instalados por el CENAPRED

Localidad	Equipo	Latitud	Longitud
El Paraje	Güralp 6t-D	20.837730	-98.168240
Palma Real	Güralp 6t-D	20.807323	-98.137566
Chichilzoquitl	Güralp 6t-D	20.79460	-98.184106

Marco Geológico

La Cuenca de Chicontepec su eje axial tiene una longitud de 250 km, orientado NW–SE y cubre una superficie oval de 11,300 km² con una anchura promedio de unos 60 km (figura 4), (Santillán-Piña; Aguayo-Camargo, 2011).

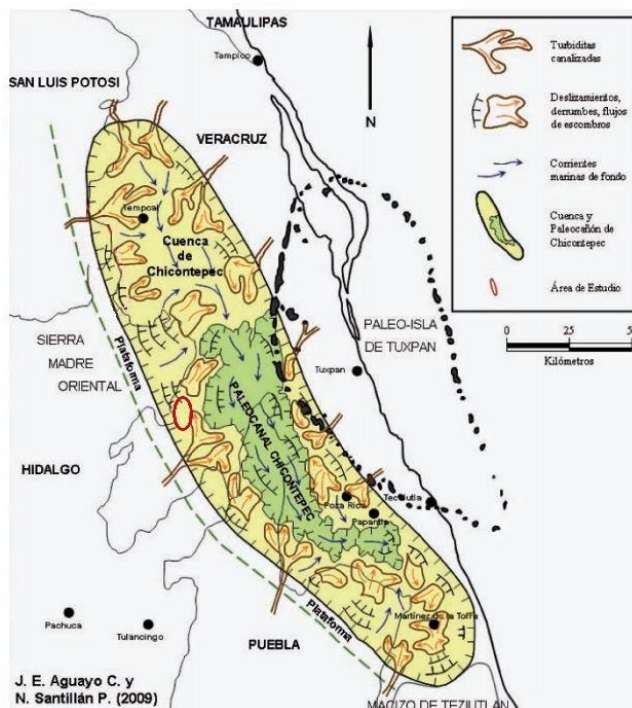


Figura 4. Localización de La cuenca de Chicontepec y el área de estudio (Modificado de Santillán-Piña; Aguayo-Camargo, 2011)

Se originó en el Paleoceno-Eoceno durante Orogenia Laramide provocando los levantamientos de la Sierra Madre Oriental y su límite de secuencia corresponde con una discordancia sintectónica.

La Orogenia Laramide fue causada por la convergencia de la Placa Farallón por debajo de la Placa Norteamericana. La orogenia causó una deformación a mayor distancia de la zona de trinchera, y elevó una porción considerable de la parte meridional de la placa de Norteamérica, debido al poco ángulo de convergencia de la Placa Farallón durante la subducción. Se incrementó así el aporte de sedimentos clásticos, aún después del fin de la orogenia; los cuales se depositaron en las grandes cuencas de antepaís de las plegadas cadenas (De Cserna, 1989; Padilla y Sánchez, 1982).

Durante el Triásico superior se depositaron secuencias de lechos rojos de gran espesor y depósitos volcánicos asociados a “horsts” y “grabenés” en las principales áreas del Golfo de México. Durante el Oxfordiano-Kimmeridgiano la invasión del mar hacia el continente



continúa e incluso aumenta, dando lugar a la formación de unidades carbonatadas, lutitas calcáreas y lutitas, para el Tithoniano se observa una estabilidad tectónica, durante la cual predominan principalmente la sedimentación de lutitas y carbonatos con alto contenido de materia orgánica, al final del mismo debido a la subsidencia continúa la invasión del mar al Golfo, sumergió a la mayoría de las islas del Occidente. (De Cserna, 1989; Padilla y Sánchez, 1982).

Durante el Aptiano se depositó una mayor cantidad de lutitas intercaladas en capas delgadas de carbonatos la cual pudo ser ocasionado por una rápida elevación del nivel del mar. El incremento en la actividad volcánica en el occidente de México ocurre durante el Coniaciano y el Santoriniano, evidenciado en los depósitos de capas delgadas de lutitas y calizas intercaladas con abundantes horizontes de bentonita. En la última etapa del periodo Cretácico aumenta el aporte de sedimentos clásticos provenientes del oeste de México, en cambio en el occidente la subsidencia aumento y se depositaron capas de margas y lutitas de gran espesor. (De Cserna, 1989; Padilla y Sánchez, 1982).

En el límite Cretácico-Terciario tiene lugar un evento importante para la evolución tectónica del golfo de México, el impacto de un meteorito en la costa norte de la península de Yucatán lo cual dio como producto brechas sobre las rocas carbonatadas sobre una gran extensión en el sur del Golfo de México. (De Cserna, 1989; Padilla y Sánchez, 1982).

La columna estratigráfica del Paleoceno Inferior y Medio se erosionó en la mayor parte de la cuenca, durante el Paleoceno tardío–Eoceno temprano y específicamente, a lo largo del margen occidental y sur de la isla de Tuxpan, también fueron erosionadas las rocas basamentales de la cuenca terciaria, del Cretácico y del Jurásico Superior. Este proceso erosivo marino dio origen al Cañón o Paleocanal de Chicontepec.

Los sedimentos terrígenos de la Formación Chicontepec, son consecuencia del levantamiento tectónico y la erosión de las rocas de la Sierra Madre Oriental, ocurrido durante el Cretácico tardío hasta el Paleógeno temprano, de la paleo-isla de Tuxpan al oriente y del macizo de Teziutlán al sur, con el consecuente transporte y depósito de los sedimentos resultantes en franca progradación hacia el interior de la cuenca y del





paleocanal de Chicontepec, como sistemas turbidíticos marinos y profundos. (Santillán-Piña; Aguayo-Camargo, 2011).

Los fragmentos de roca de carbonato más distintivos incluyen lodo oscuro, arcilloso y arcilloso con foraminíferos pelágicos; estos tipos de rocas indican la elevación y la erosión de los estratos de carbonato tanto de la cuenca como de la plataforma durante este tiempo. (Mark R. Bitter, 1993).

La distribución de facies sedimentarias de la cuenca sugiere la presencia de sistemas de abanicos principales en las partes noroccidental y sur de la cuenca de Chicontepec. Las areniscas de Chicontepec marcan el primer levantamiento importante y la subsiguiente erosión de los carbonatos del Cretáceo Medio al Alto, expuestos al oeste en la Sierra Madre Oriental. (Mark R. Bitter, 1993).

Resultados

Durante la campaña de adquisición de dato se registraron cuatro sismos, mismo que fueron reportados por el Servicio Sismológico Nacional (SSN) tal como se muestra en la siguiente tabla y en la figura 5, se ilustra un ejemplo del registro sísmico.

Tabla 2. Localización de los sismos reportados por el SSN y registrados en los instrumentos instalados por el CENAPRED en el municipio de Benito Juárez.

Latitud	Longitud	Mag.	Prof. [km]	Fecha	Hora	Localización
20.8333	-98.1432	3.8	5	21/10/2018	23:03:28	45 km al SURESTE de HUEJUTLA DE REYES, HGO
20.8752	-98.1032	3.7	4.5	22/10/2018	03:21:57	44 km al SURESTE de HUEJUTLA DE REYES, HGO
20.8273	-98.2133	3.8	5	25/10/2018	23:23:35	41 km al SURESTE de HUEJUTLA DE REYES, HGO
20.85	-98.14	3.8	5	07/12/2018	03:25:15	43 km al SURESTE de HUEJUTLA DE REYES, HGO



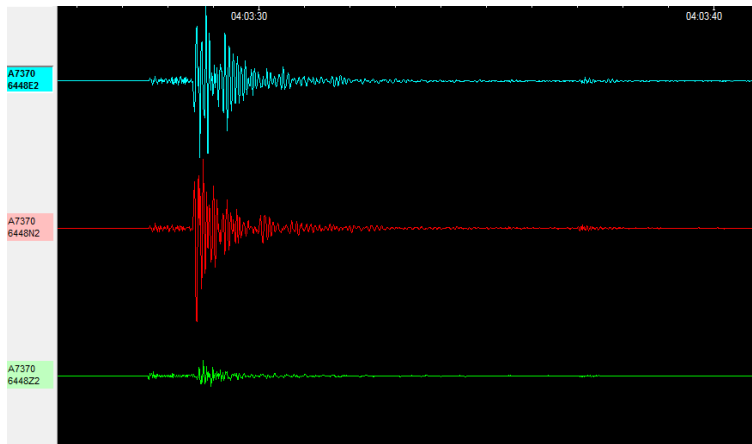


Figura 5. Muestra el registro sísmico de la estación Chichilzoquitl del 21 de octubre a las 23:03:28 hora local

Para la obtención de la función de Green se apilaron las correlaciones cruzadas en ventanas de 5 minutos entre cada par de estaciones, donde el mayor contenido es de ondas superficiales. Se realizaron los siguientes pasos que constan de tres fases (Valderrama, 2018).

- Preparación de los datos de forma individual
- Apilación de las correlaciones cruzadas
- Cálculo de las curvas de dispersión

Después del cálculo de las curvas de dispersión se procedió a hacer el picado de la misma tal como se muestra en la figura 6, para cada par de estaciones, posteriormente se invirtió la curva de dispersión picada en la subrutina *dinver* del software *Geopsy* para estimar el modelo de velocidades de onda P y S. Para la estimación del modelo de velocidades se usó un modelo inicial de 4 capas y un semiespacio que representa las generalidades geológicas del municipio de Benito Juárez.



Tabla 3. Valores del modelo inicial para la estimación del modelo de velocidades.

Espesor (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
800	900-1150	520-650
1000	1200-1900	630-860
500	1600-2000	900-1100
1500	2200-3000	1200-1700
-	3300-4500	2000-2400

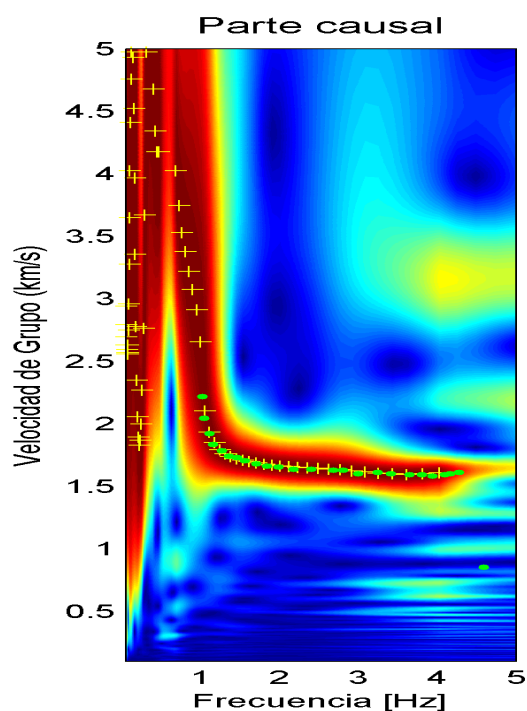


Figura 6. Curva de dispersión de la velocidad de grupo de las estaciones El Paraje y Chichilzoquitl. Los modelos de velocidades de onda P y S que se muestran a continuación es el resultado de la inversión de la curva de dispersión de cada par de estaciones.



El Paraje y Chichilzoquitl.

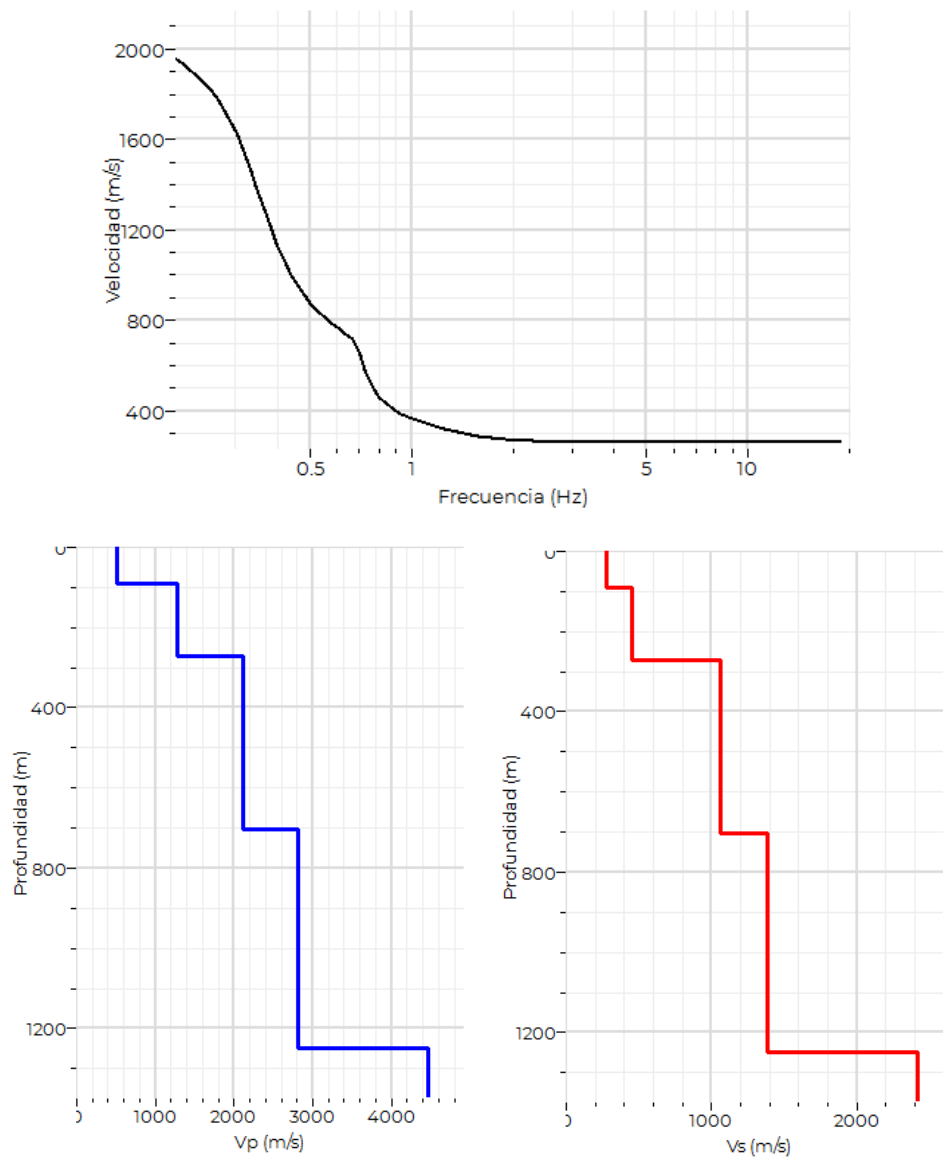


Figura 7. Curva de dispersión y modelo de velocidades de onda P y S





Palma Real y Chichilzoquitl

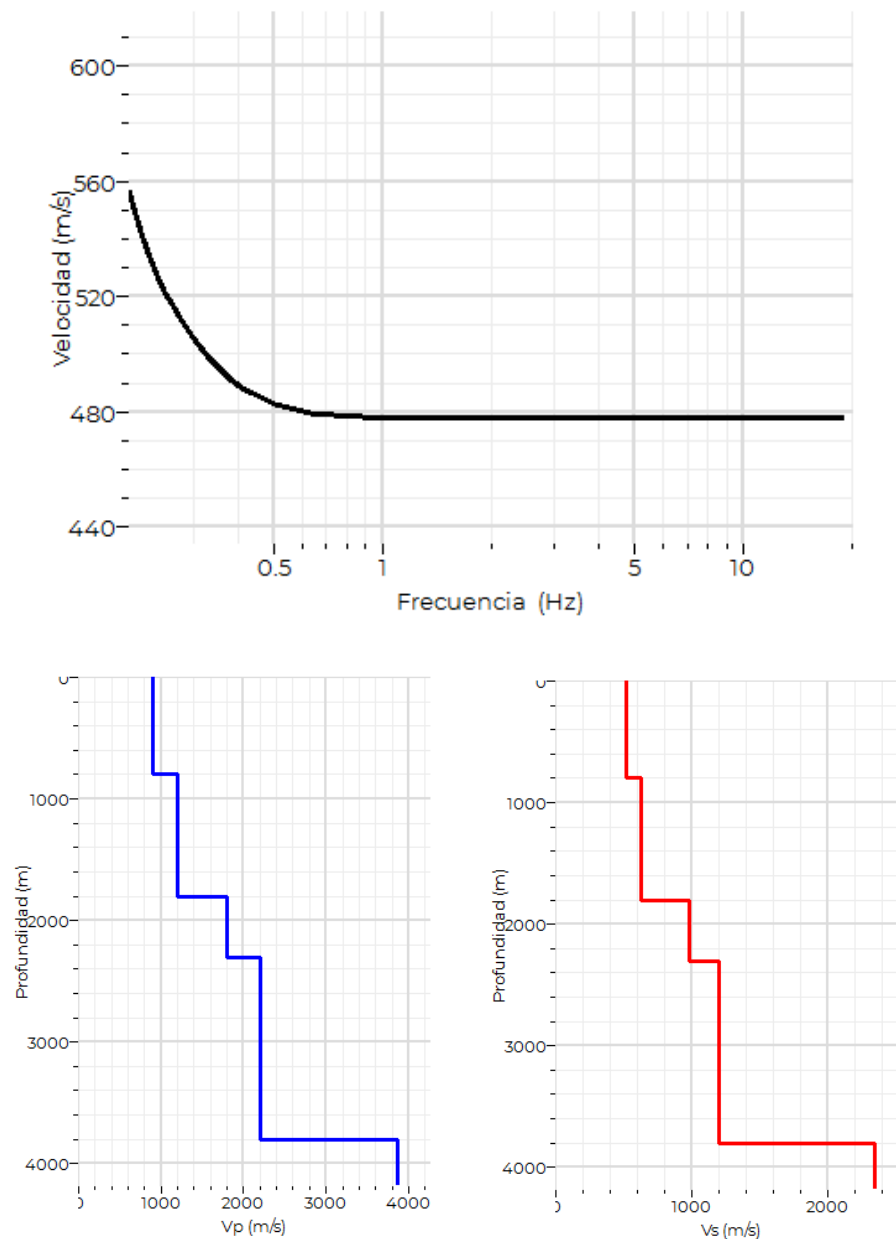


Figura 8. Curva de dispersión y modelo de velocidades de onda P y S

También se aplicó el método de SPAC (Aki, 1965) en el que se trabajó con un triángulo de 5000 m, el cual se obtuvo la siguiente curva de dispersión y modelo de velocidades.



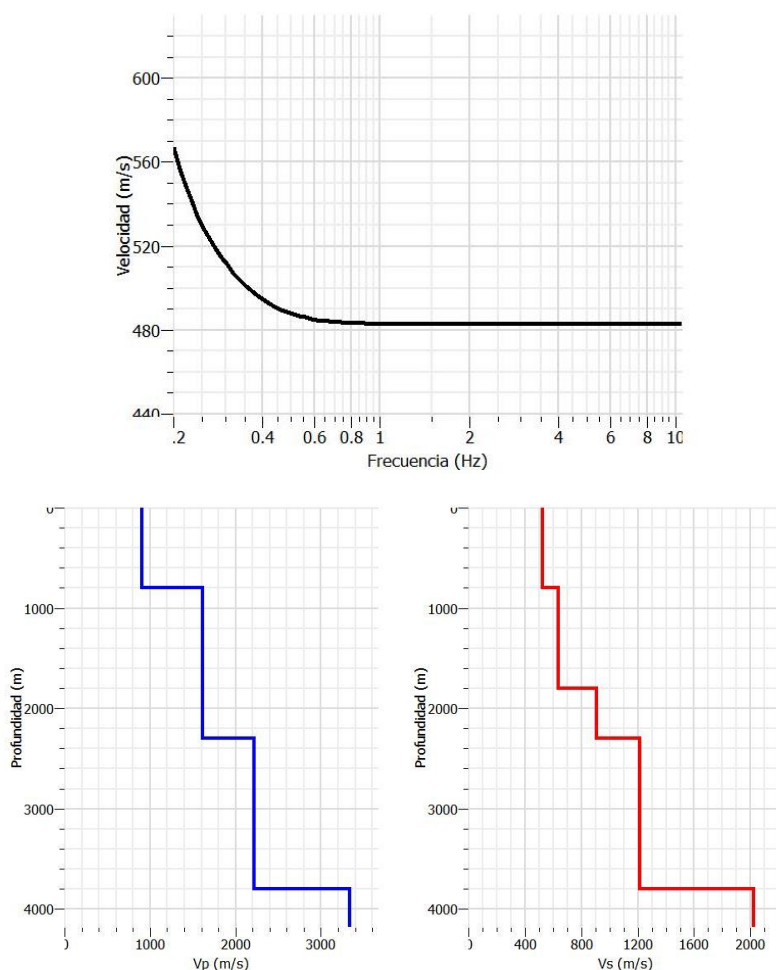


Figura 9. Curva de dispersión y modelo de velocidades de onda P y S del arreglo triangular en el municipio de Benito Juárez, Ver.

Otra metodología que se aplicó en este municipio fue el H/V de ruido sísmico, en el que se pretendió obtener el periodo fundamental de vibrar del suelo donde se colocó el equipo sísmico.

Tabla 4. Periodo fundamental de vibrar de las tres estaciones instaladas en el municipio de Benito Juárez, Ver.

Estación	Frecuencia fundamental (Hz)	Periodo (s)
El Paraje	12.2	0.08
Palma Real	9.59	0.10
Chichilzoquitl	11.01	0.09

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México.
Tel: 52+55 5424 6100, 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>
Página 15 de 34



En las siguientes figuras se muestran las graficas que representan el H/V de cada una de las tres estaciones instaladas.

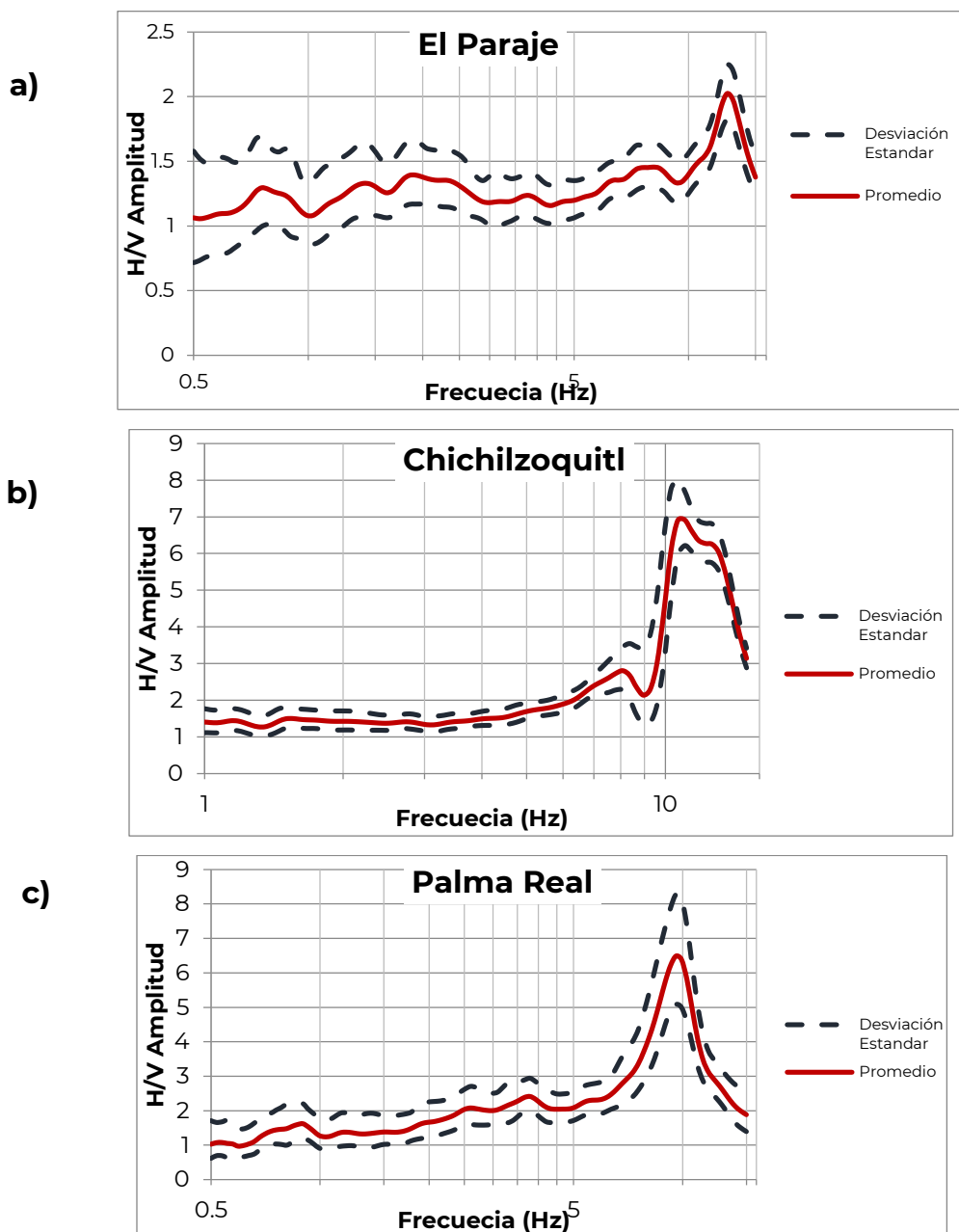
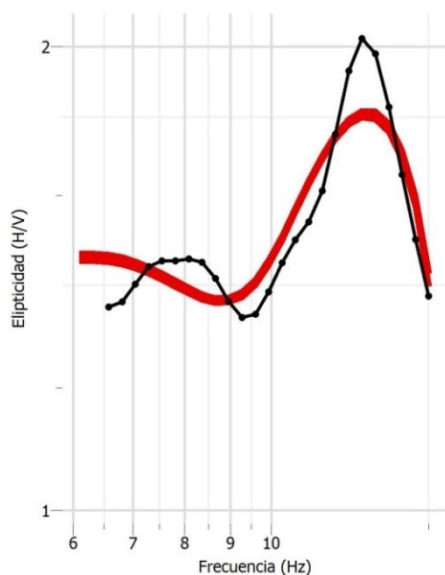


Figura 10. Grafica que representa la frecuencia pico del suelo en la estación a) El Paraje, b) Chichilzoquitl y c) Palma Real.



La inversión de la curva H/V se realizó utilizando el mismo modelo y parámetros de la tabla 3. Para esto se utilizó dinver, se invirtieron las curvas H/V como una aproximación de las curva de elipticidad de las ondas Rayleigh, y se obtuvieron los resultados que se muestran en las siguientes figuras.

a)



b)

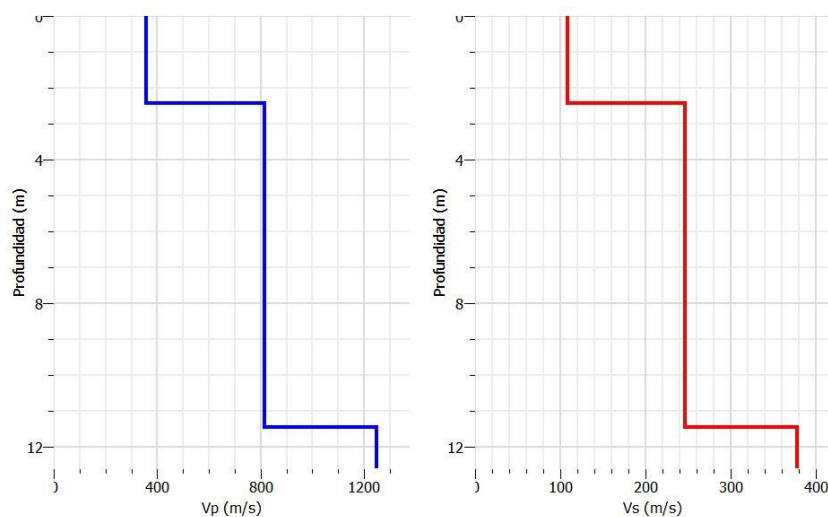
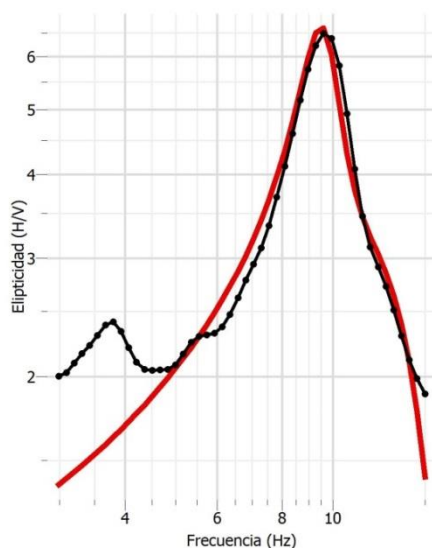


Figura 11. a) Ajuste de la curva de elipticidad a la curva H/V de la estación El Paraje, b) modelo de velocidades sísmicas para la curva H/V.





a)



b)

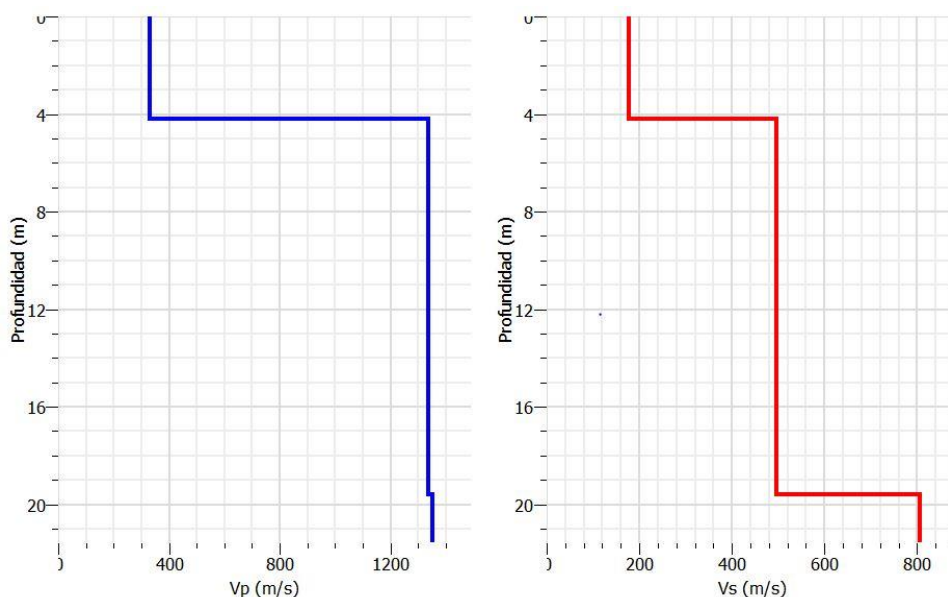
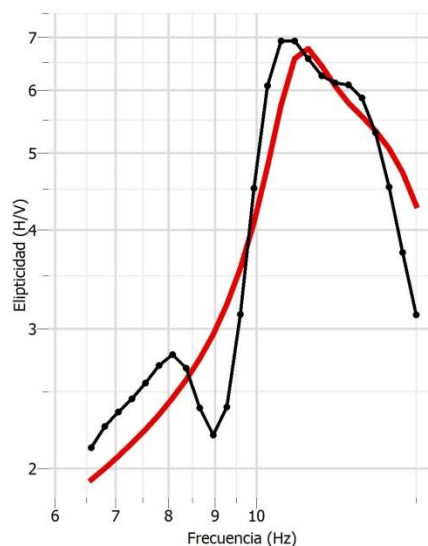


Figura 12. a) Ajuste de la curva de elipticidad a la curva H/V de la estación Palma Real, b) modelo de velocidades sísmicas para la curva H/V.



a)



b)

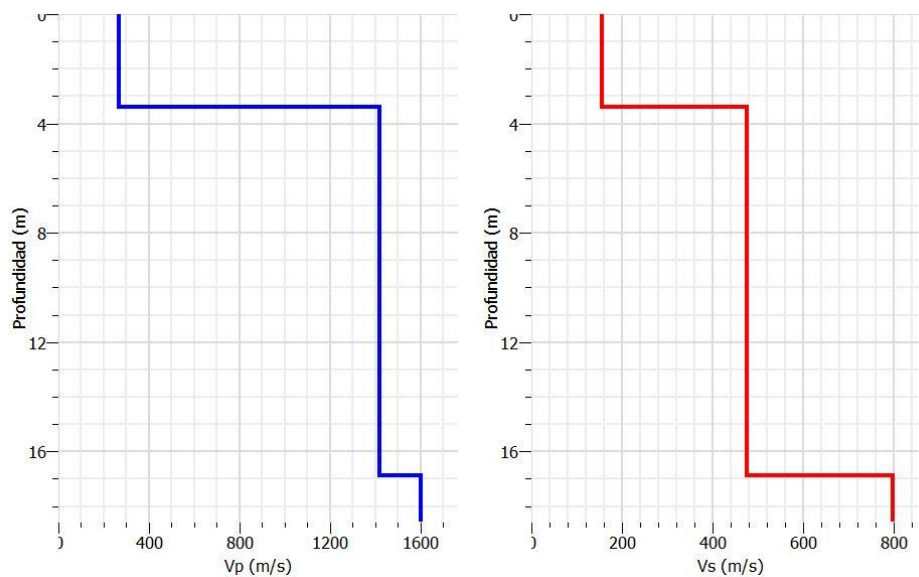


Figura 13. a) Ajuste de la curva de elipticidad a la curva H/V de la estación Chichizoquitl, b) modelo de velocidades sísmicas para la curva H/V.



Caso El Cuchillo, Nuevo León.

EL CUCHILLO, NUEVO LEÓN

La región de estudio se encuentra en la subprovincia geológica Cuenca de Burgos que pertenece fisiográficamente a la Planicie Costera del Golfo y geológicamente a la provincia NE presa El Cuchillo Solidaridad se localiza en el estado de Nuevo León, aproximadamente a 102 km al oriente de la ciudad de Monterrey al oriente de la ciudad de Monterrey, esto de Nuevo León, en las cercanías de la población de China. Esta obra está destinada a la captación y almacenamiento de los escurrimientos de agua en la cuenca del río San Juan, para el abastecimiento de agua potable a los habitantes de la ciudad de Monterrey y su área metropolitana (Navarro-de León et al., 1999).

El macizo rocoso de la loma Los Pozos funciona como dique natural en la presa El Cuchillo Solidaridad. La loma Los Pozos está constituida por una secuencia alternante de lutita y arenisca de edad terciaria, perteneciente a la provincia geológica Cuenca de Burgos. En esta secuencia afloran cinco paquetes de areniscas, y sobre ellas, discordantemente, afloran dos secuencias de depósitos fluviales pleistocénicos. La situación estructural de los estratos eocénicos es un homoclinal de dirección NNW-SSE, que buza ligeramente hacia el NEE, cuya dirección coincide con la del eje de la cortina (Andaverde, Jorge A., 1999).

El área donde se instalaron las estaciones temporales se ubica entre la presa El Cuchillo y el municipio de Cadereyta, abarcando un área de aproximadamente 2657 km². El número de estaciones que se instalaron fueron 15 de las cuales sólo con 13 se pudo trabajar. El tipo de equipo que se instaló fueron velocímetros uniaxiales de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).



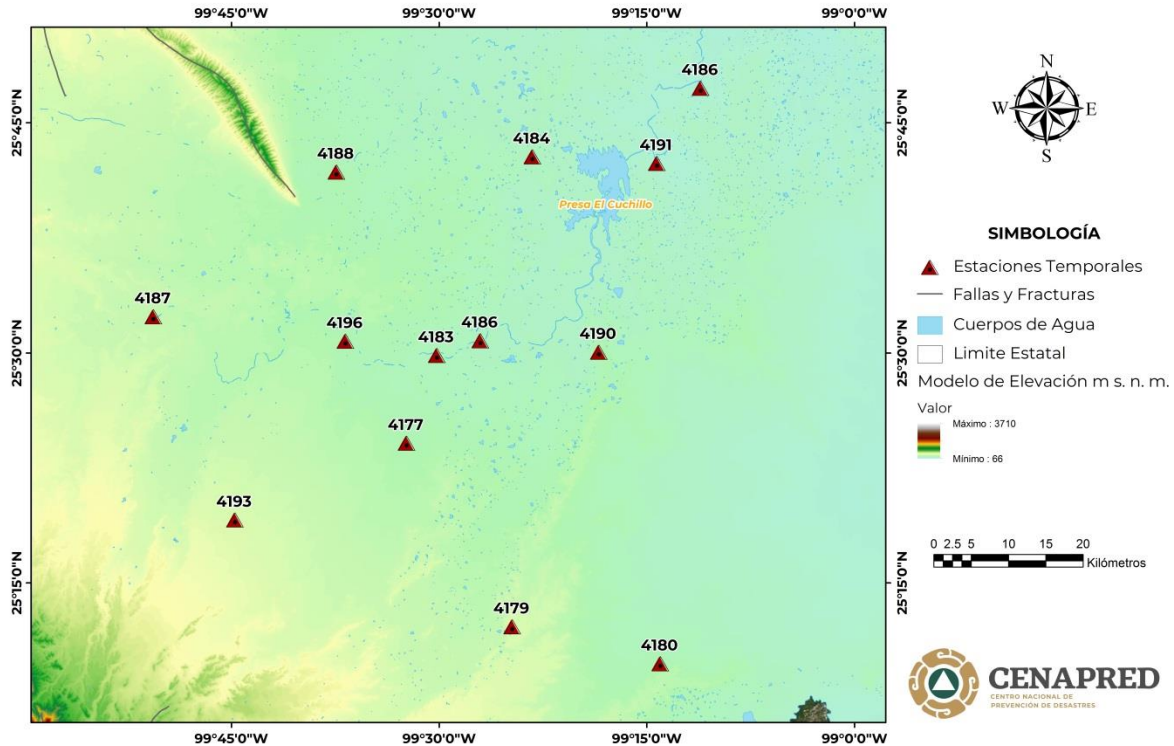


Figura 14. Localización de las estaciones que se instalaron en la región de la presa El Cuchillo

Resultados

La metodología que se aplicó en este caso fue la de correlación de pares de estaciones y se aplicó a 17 pares de estaciones (figura 15) para estimar un modelo de velocidades, tal como se realizó en el caso del municipio Benito Juárez, Ver., se calculo las correlaciones cruzadas en la que se pico la curva de dispersión y se estimo el modelo de velocidades.

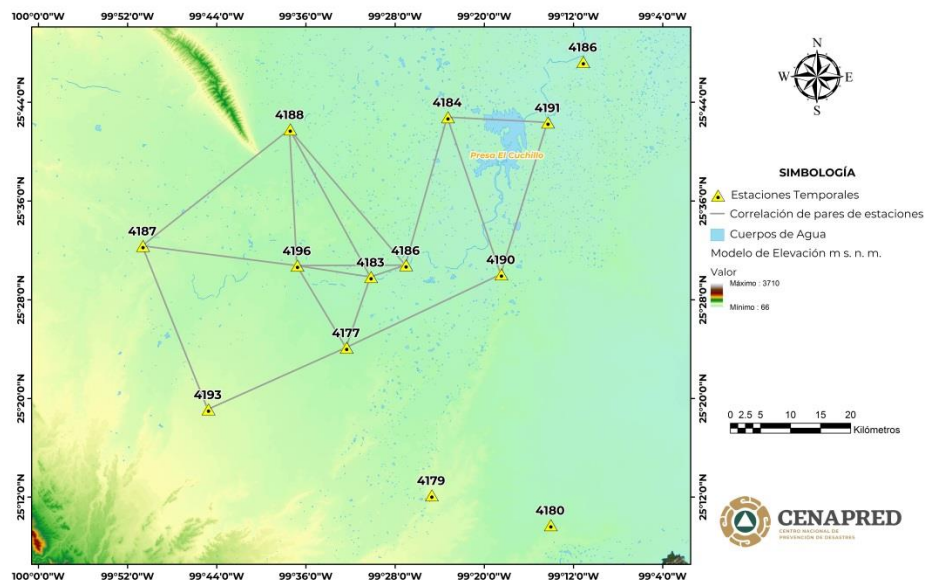


Figura 15. Configuración de los pares de estaciones en las que se realizaron las correlaciones

En la siguiente figura se muestra las 17 curvas de dispersión de los pares de estaciones que se pudieron correlacionar. Las estaciones que no se pudieron correlacionar fue porque los registros no eran los optimos, por lo tanto no hubo una buena correlación.

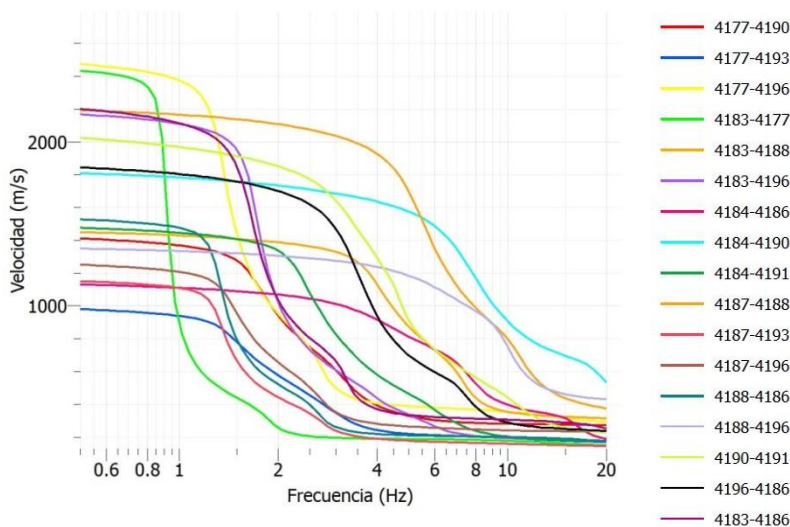


Figura 16. Curva de dispersión de las correlaciones de par de estaciones de las estaciones instaladas en los alrededores de la presa El Cuchillo

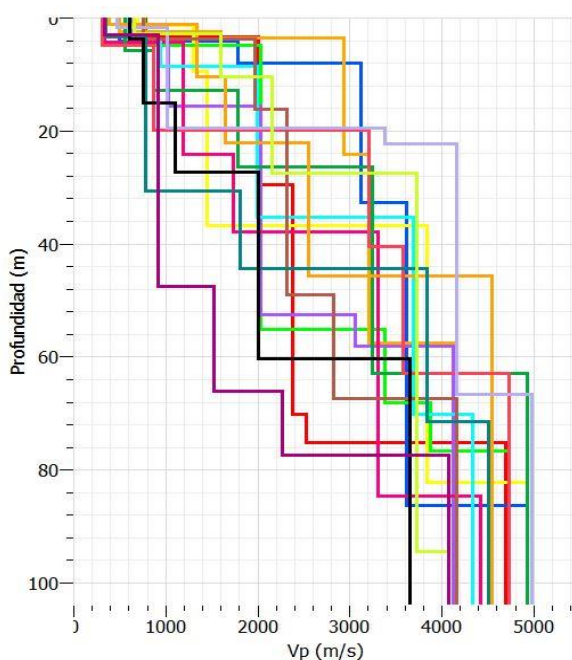


Con las curvas de dispersión mostradas en la figura anterior se estimaron los modelos de velocidades de onda P y S para cada par de estaciones. Para ello se usó un modelo inicial de 4 capas y un semiespacio, tal como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Valores del modelo inicial para la estimación del modelo de velocidades.

Espesor (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
4	<1100	<650
10	<2000	<1100
20	<3200	<1850
45	<5400	<3100
-	<5400	<3100

En la siguiente figura se muestran los modelos de velocidades obtenidas para cada uno de pares de estaciones.



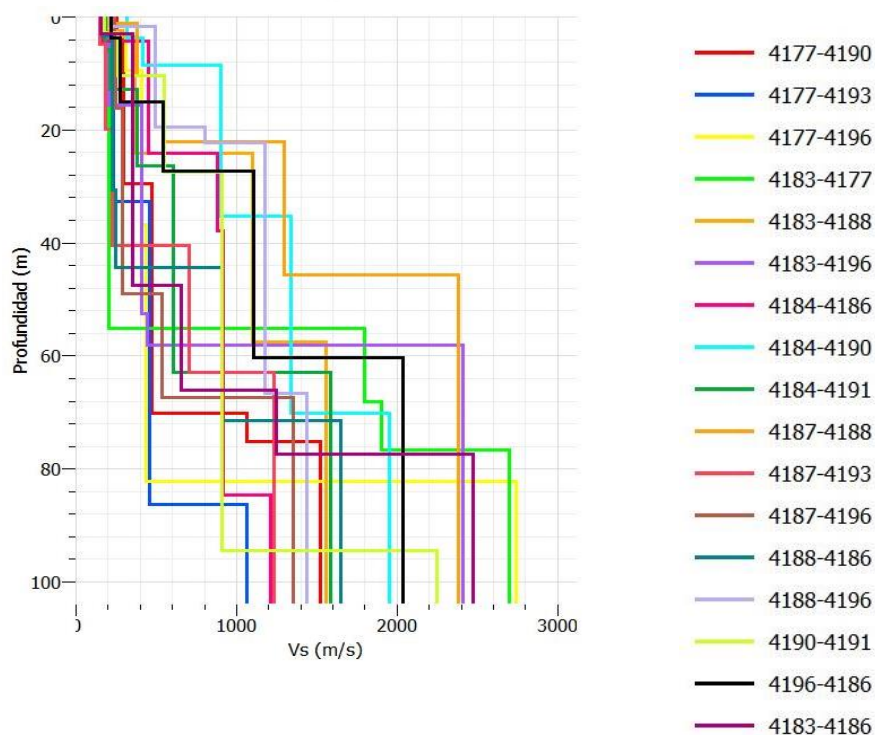


Figura 17. Modelo de velocidades de onda P y S para cada par de estaciones

Coclusiones y recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos se pretendió obtener un modelo de velocidades general de la zona de estudio, en el caso del municipio de Benito Juárez se avarco una limitada zona ya que solo se instalaron tres estaciones y esto delimitó caracterizar una zona más amplia del mencionado municipio. Con los datos que se obtuvieron en la campaña de adquisición se consiguió una buena caracterización del suelo donde se instalaron los sismómetros, en la que se obtuvo la frecuencia fundamental que nos indica que el tipo de suelo es firme, también se obtuvo el modelo de velocidades por medio de correlación de pares de estaciones y por medio de un arreglo triangular utilizando el método SPAC. Para las dos metodologías los modelos de velocidades fueron similares. Mediate el método de cocientes espectrales H/V de Nakamura se obtuvo que los puntos en los que se instalaron las estaciones tuvieron valores entre 0.08 y 0.1 s de periodo



fundamental, lo que significa que los tres municipios El Paraje, Palma Real y Chichilzoquitl están asentados en zona de roca firme.

Con el método de SPAC y correlaciones de pares de estaciones se estimaron las estructuras de velocidades de los estratos más someros, en las dos zonas de estudio (Veracruz y Nuevo León). En el caso de las comunidades del El Paraje, Palma Real y Chichilzoquitl se utilizaron las dos metodologías, de las cuales se obtuvo un modelo de velocidades muy semejante entre los dos métodos. De acuerdo a lo obtenido en los modelos de velocidades sísmicas se alcanzó a explorar hasta 3800 m de profundidad para el caso del par de estaciones Palma Real-Chichilzoquitl y el arreglo de SPAC, con velocidades que oscilan entre los 909 m/s y los 3332 m/s para la onda P y 525 m/s y 2020 m/s para onda S, estos valores están entre las velocidades que comprende la cuenca de Chicontepec.

En el caso de la zona de la presa El Cuchillo se tuvo una mayor zona de exploración de aproximadamente 1780 km² por la densidad de instrumentos que se instalaron. Para este sitio solo se trabajó con el método de correlaciones de pares de estaciones, ya que el equipo que se utilizó fue uniaxial (componente vertical).

Se realizaron 17 correlaciones entre par de estaciones las cuales se obtuvieron sus modelos de velocidades sísmicas con valores que van de 307 a los 4970 m/s para la onda P y de los 151 a los 2740 m/s para la onda S.

Los resultados obtenidos nos dan una idea que como está constituido las capas más superficiales del suelo de la zona de estudio. Este tipo de información puede ser utilizada para los reglamentos de construcción de los municipios en cuestión.

Se recomienda contar con más sismómetros para tener una mejor caracterización del suelo de los lugares en donde se realicen futuros estudios.

Referencias

Andaverde-Arredondo, Jorge A. (1999). Determinación de los Mecanismos de Filtración Mediante Métodos Geólogo-Geofísicos en la Presa El Cuchillo-Solidaridad China, Nuevo León, México. Tesis de Maestría en Ciencias Geológicas.





SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

Campillo M, y Paul A. (2003). Long-Range Correlations in the Diffuse Seismic Coda. Science, Vol. 299, 547-549.

De Cserna, Z. (1989). An Outline of Geology of Mexico, in The Geology of North America-An overview: Boulder, Co., Geological Society of America, 233-264.

Kedar, S., Longuet-Higgins, M.S., Webb, F., Graham, N., Clayton, R., Jones, C. (2008). The Origin of Deep Ocean Microseisms in the North Atlantic Ocean. Proceedings of the Royal Society A, 464, 777-793.

Mark R. Bitter. (1993). Sedimentation and Provenance of Chicontepec Sandstones with Implications for uplift of the Sierra Madre Oriental and Teziutlan massif, east-central Mexico. GCSSEPM Foundation 13th Annual Research Conference Proceeding, July 1, 155-172.

Navarro-de León, I., De León-Gómez, H., Wener-Paulus, J. H., Pola-Símula, C. (1999). Impacto de las Discontinuidades Litológicas y Estructurales en La Presa El Cuchillo Solidaridad, China, Nuevo León, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 16, Núm. 2, 121-131.

Lay, T., Wallace, T. C. (1995). Model Global Seismology, Volume 58, International Geophysics, Academic Press, USA.

Padilla y Sánchez (1982). Geologic Evolution of the Sierra Madre Oriental Between Linares, Conception del Oro, Saltillo and Monterrey, Mexico. The University of Texas at Austin.

Sánchez-Sesma et al., (2007). Recuperación de la función de Green Elastodinámica a partir de correlaciones de ruido, Boletín de la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración.

Sánchez-Sesma y Campillo M. (2006). The elastodynamic 2D Green function retrieval from cross-correlation: The canonical inclusion problem, Geophysical Research Letter.

Santillán-Piña y Aguayo-Camargo (2011). Facies Sedimentarias Turbidíticas del Terciario Inferior de la Cuenca de Chicontepec, Centro-Oriente de México. Ingeniería Investigación y Tecnología. Vol. XII, Núm. 3, 337-352.

Shapiro N. y Campillo M. (2004). Emergence of Broadband Rayleigh Wave from Correlations of the Ambient Seismic Noise. Geophysical Research Letters, Vol. 31.

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México.
Tel: 52+55 5424 6100, 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>
Página 26 de 34



2020
AÑO DE
LEONA VICARIO
BENEMÉRITA MADRE DE LA PATRIA



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

Shapiro N., Campillo M., Stehly L. y Ritzwoller M. H. (2005). High Resolution Surface Wave Tomography From Ambient Seismic Noise. Science, 307, 1615-1618.

Snieder, R. (2004). Extracting the Green's function from the correlation of coda waves: a derivation based on stationary phase, Phys. Rev. E, 69 (4), 046610.

Valderrama, S. (2018). Tomografía de Velocidad de Grupo de Ondas Rayleigh para el Graben de Acambay por medio de Ruido Sísmico. Tesis de Maestría, UNAM.



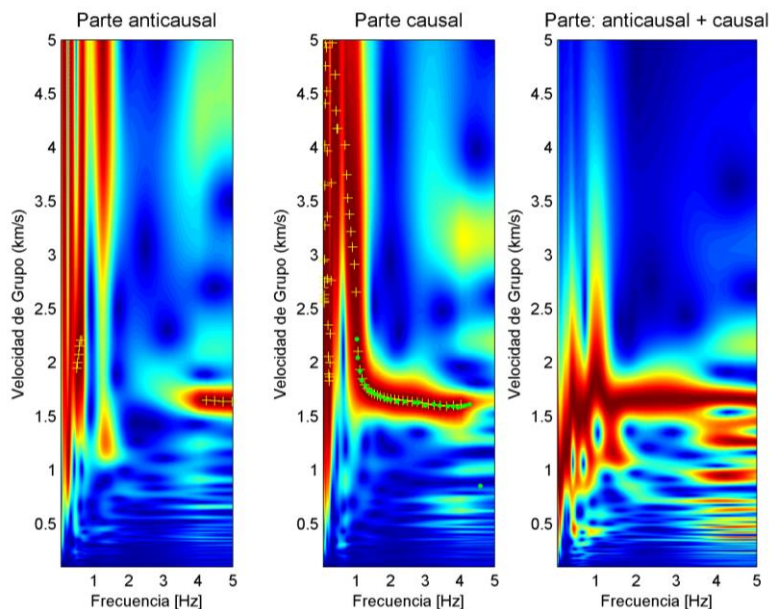


ANEXO A

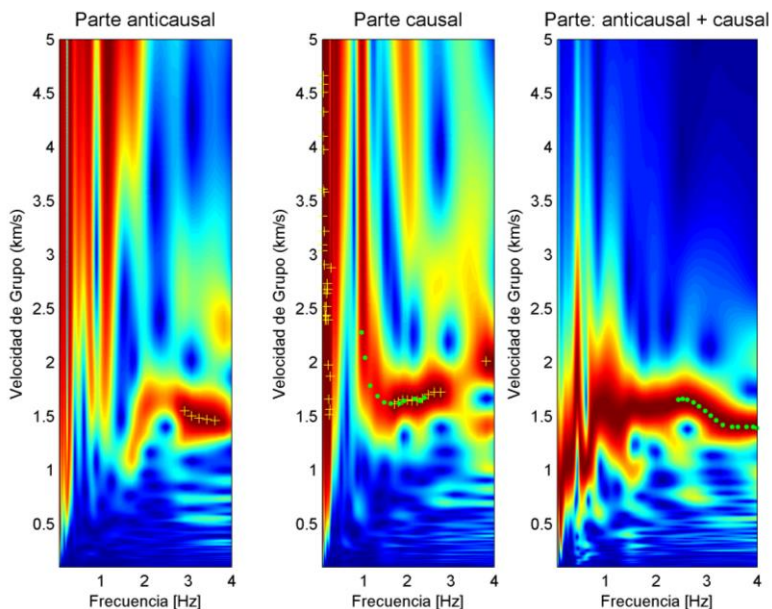
Curva de dispersión de onda de grupo de cada par de estaciones

Caso Benito Juárez, Veracruz

Estaciones: 38016-a7370. Distancia: 5.47 [km]



Estaciones: 41621-a7370. Distancia: 5.4093 [km]



Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México.
Tel: 52+55 5424 6100, www.gob.mx/cenapred

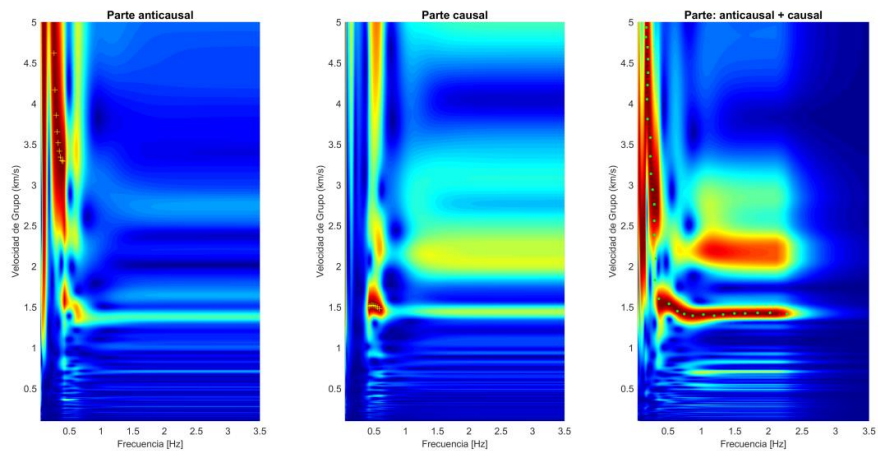
Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 28 de 34



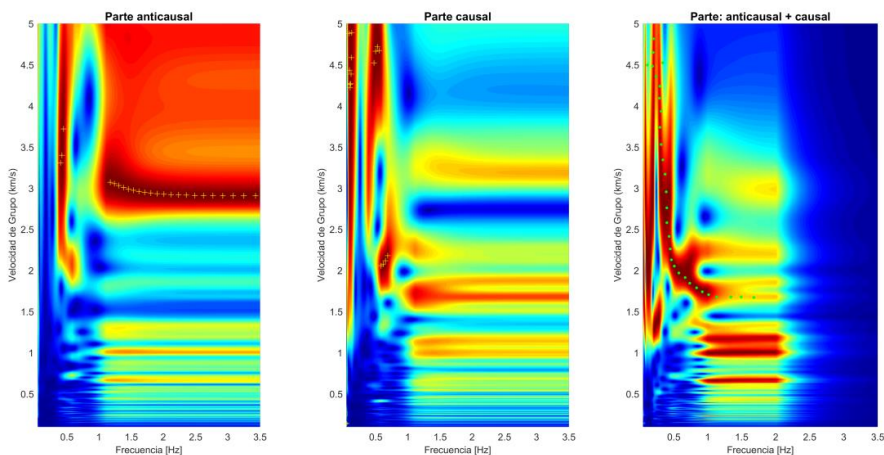


Caso zona de El Cuchillo

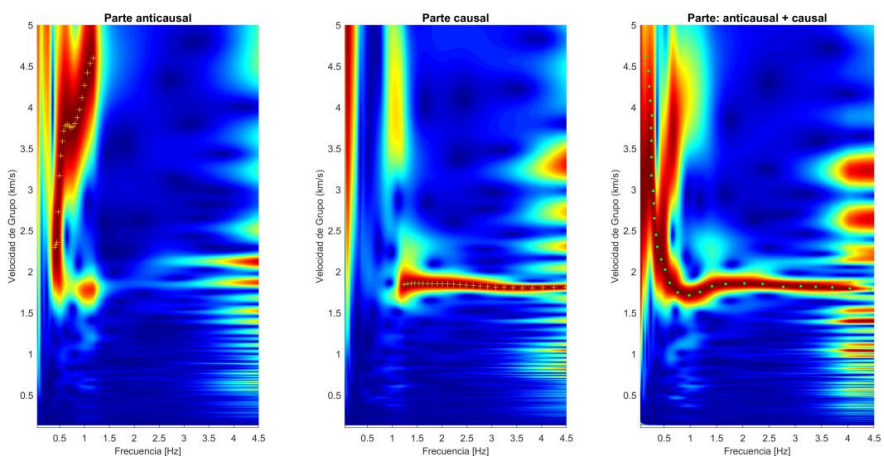
Estaciones: 4177-4190. Distancia: 28.5 [km]



Estaciones: 4177-4193. Distancia: 25.19 [km]



Estaciones: 4177-4196. Distancia: 15.96 [km]



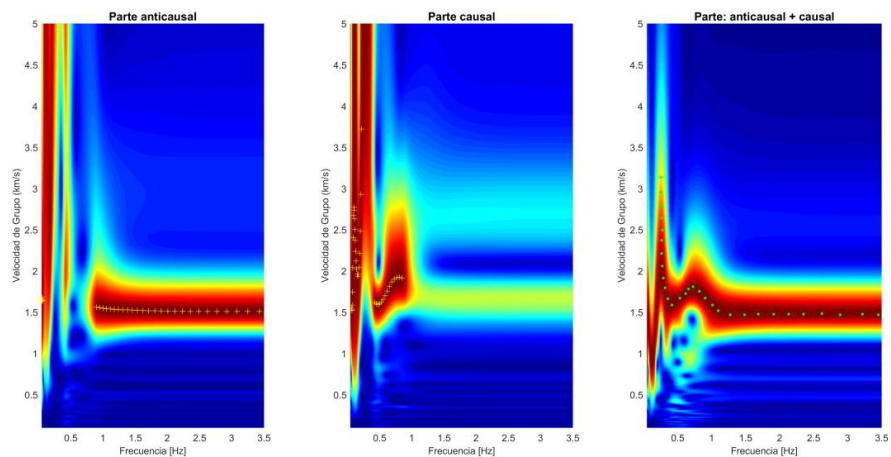
Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México.
Tel: 52+55 5424 6100, www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 29 de 34

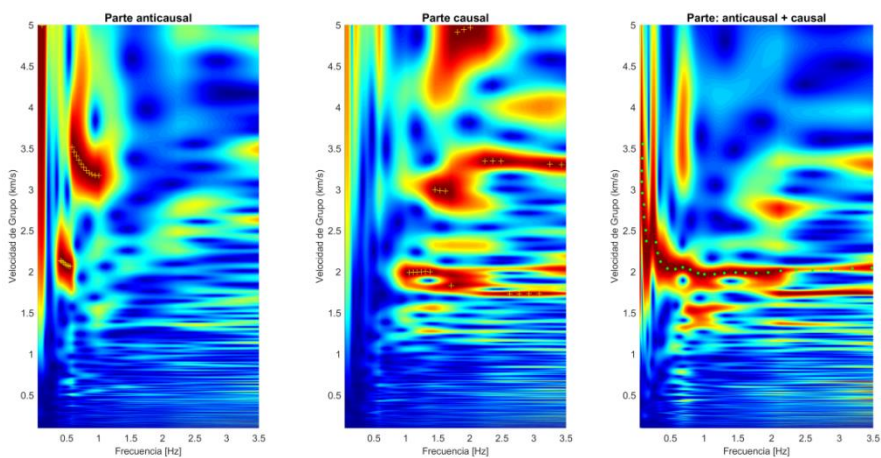




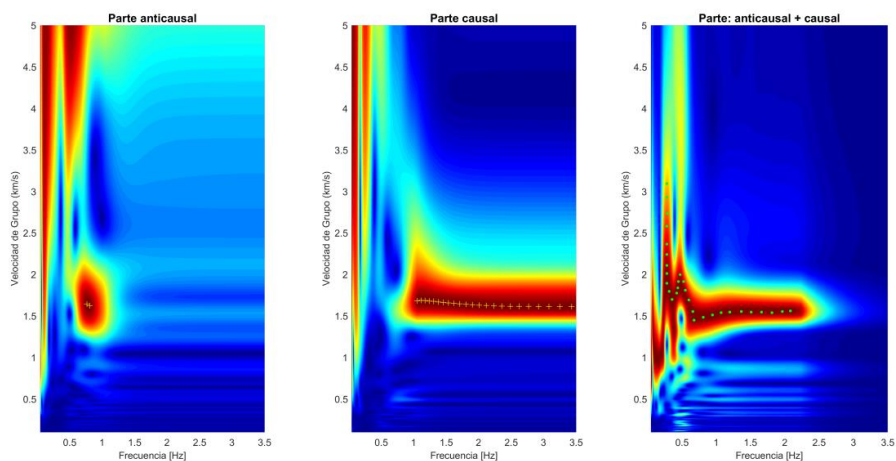
Estaciones: 4183-4177. Distancia: 12.43 [km]



Estaciones: 4183-4188. Distancia: 28.02 [km]



Estaciones: 4183-4196. Distancia: 12.39 [km]



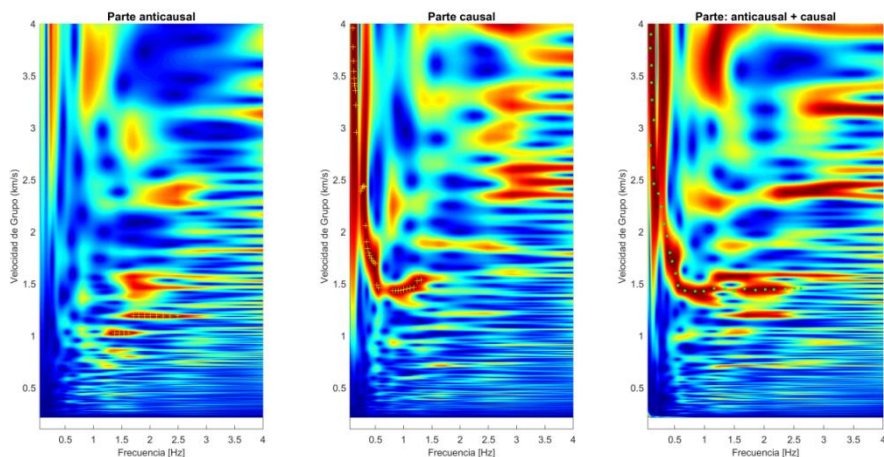
Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México.
Tel: 52+55 5424 6100, www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 30 de 34

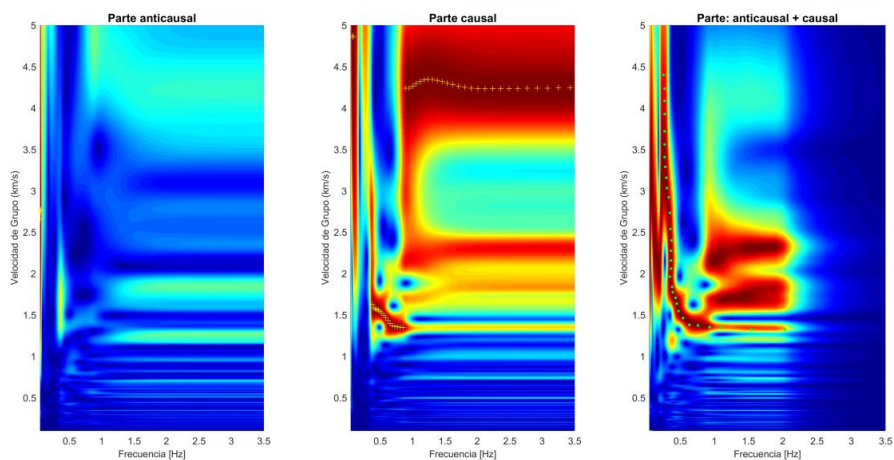




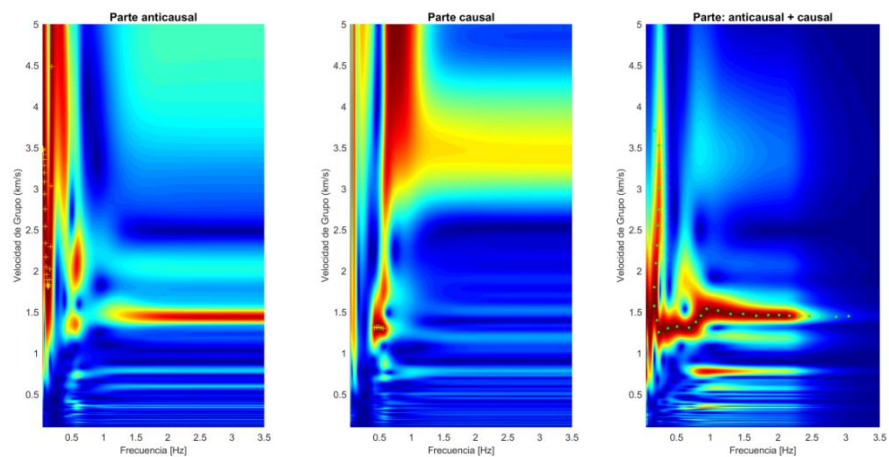
Estaciones: 4184-4186b. Distancia: 25.61 [km]



Estaciones: 4184-4190. Distancia: 29.34 [km]



Estaciones: 4184-4191. Distancia: 16.68 [km]



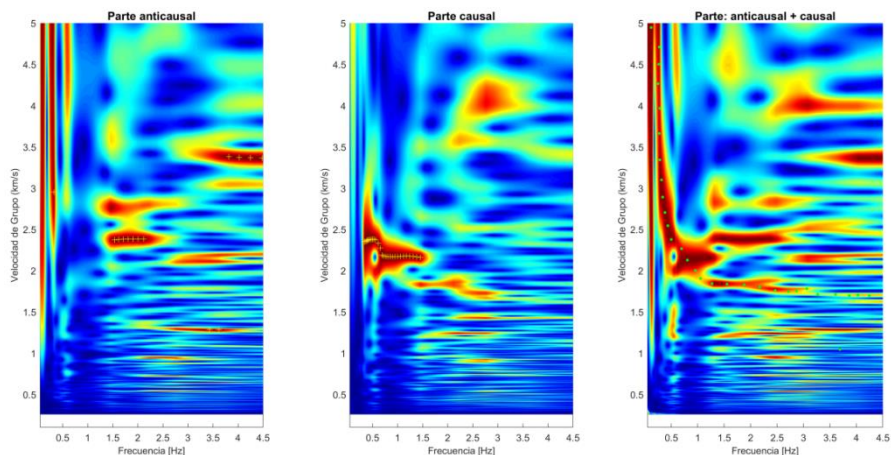
Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México.
Tel: 52+55 5424 6100, www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 31 de 34

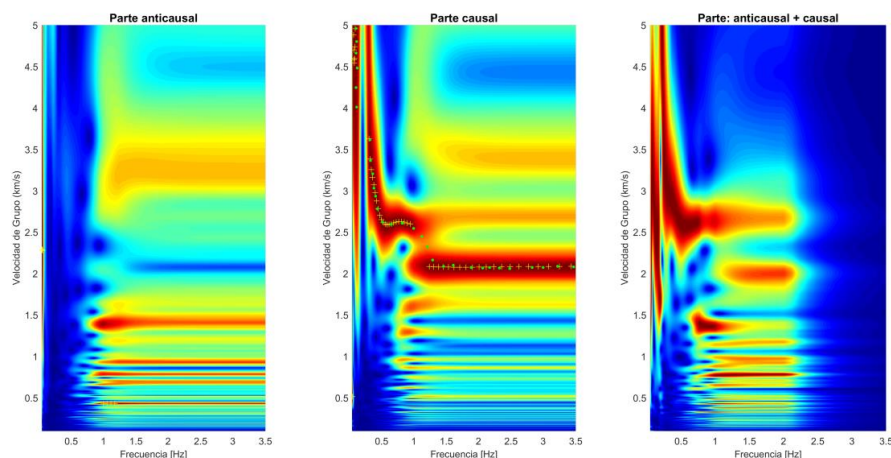




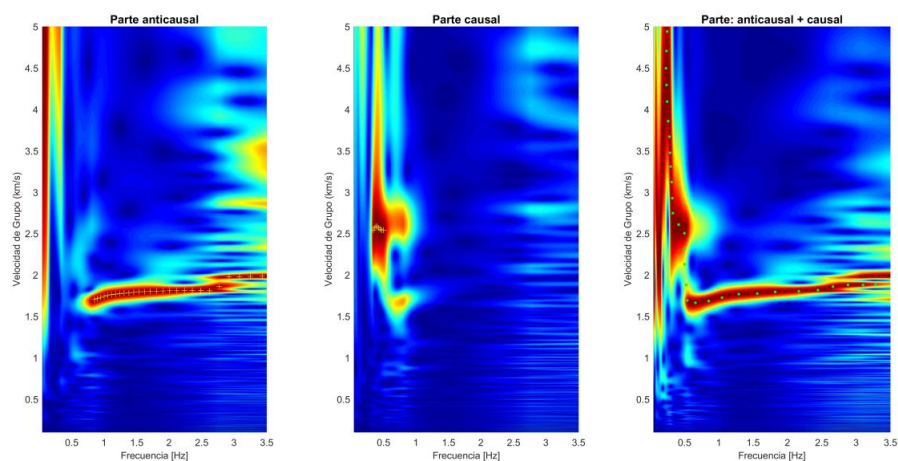
Estaciones: 4187-4188. Distancia: 31.27 [km]



Estaciones: 4187-4193. Distancia: 29.34 [km]



Estaciones: 4187-4196. Distancia: 25.93 [km]



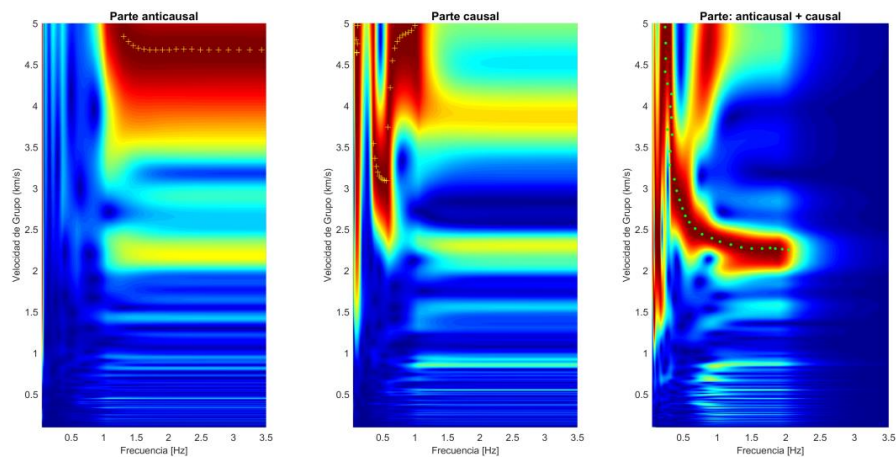
Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México.
Tel: 52+55 5424 6100, www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 32 de 34

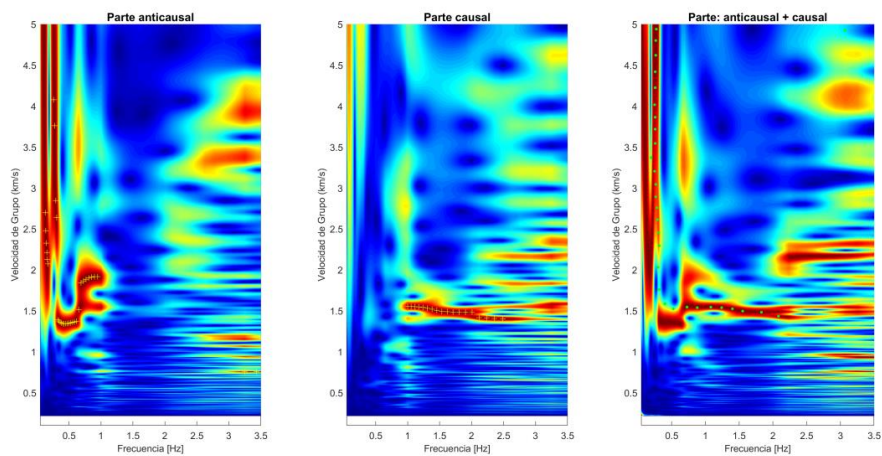




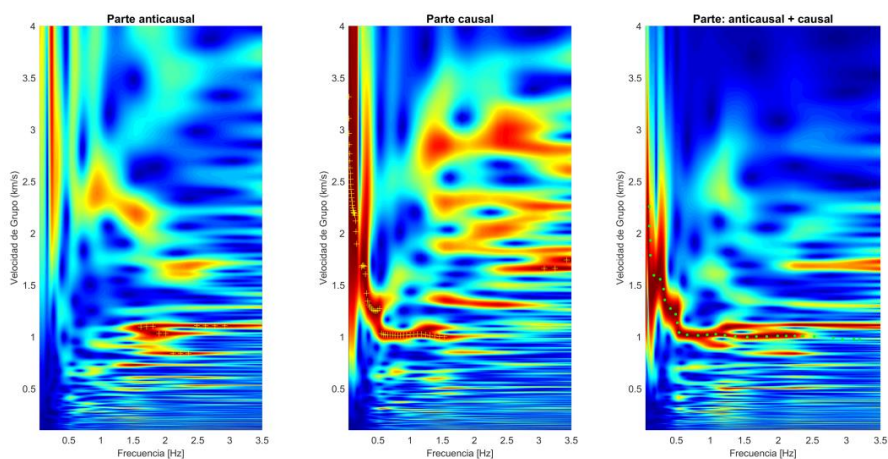
Estaciones: 4188-4196. Distancia: 29.34 [km]



Estaciones: 4190-4191. Distancia: 26.03 [km]



Estaciones: 4196_186b. Distancia: 18.08 [km]



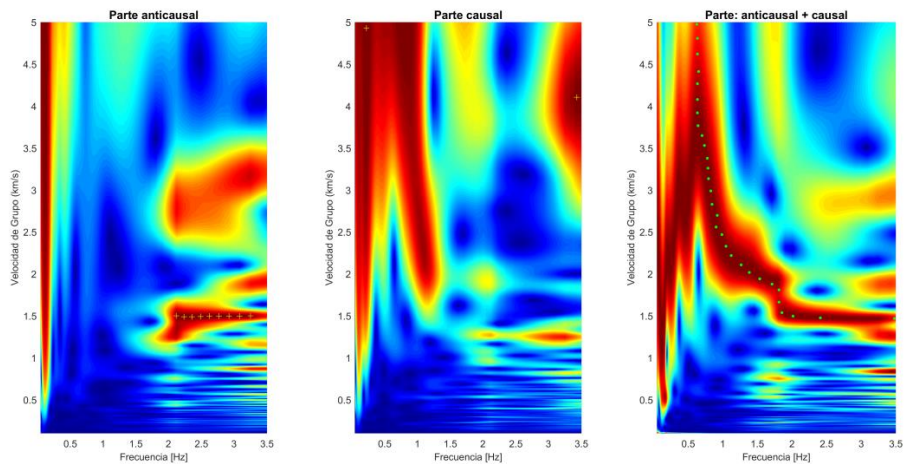
Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México.
Tel: 52+55 5424 6100, www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 33 de 34





Estaciones: 4183-4186b, Distancia: 6.16 [km]



Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México.
Tel: 52+55 5424 6100, 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>
Página 34 de 34

