



Universidad Michoacana de San
Nicolás de Hidalgo

Facultad de Ingeniería Civil

Espectro de Respuesta

Registrados de la Red sísmica Nicolaita

Tesis para obtener el grado de Ingeniero civil

Presenta

Feliciano Guzmán Méndez

Director de la tesis:

Dr. José Manuel Jara Guerrero



Morelia Michoacán octubre de 2021



Agradecimientos

Agradezco a la universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por otorgarme las herramientas necesarias e instalaciones durante el proceso de mi carrera.

Agradezco a la Dra. Bertha Alejandra por el apoyo que me brido durante el proceso para llevar a cabo mi Servicio Social, por el tiempo invertido y por su paciencia y enseñanza recibida en este trabajo.

Al Dr. José Manuel Jara Guerrero por su valioso tiempo y dedicación durante la realización de mi tesis como mi asesor, por facilitarme las herramientas necesarias y por compartir generosamente su conocimiento.

Agradezco a mis padres por haberme brindado sus mejores consejos, por el esfuerzo que ellos hicieron y creer en mí para terminar la carrera universitaria.

A mis hermanos que me motivaron siempre para no rendirme durante el transcurso de mi carrera profesional.

Finalmente agradezco a cada uno de mis compañeros y amigos por no haberme dejado atrás cuando les pedía ayuda.



RESUMEN

La reducción de daños sísmicos en una población está relacionada con el mejor conocimiento del movimiento de los suelos. La intensidad sísmica en un sitio depende de las características de las fuentes sísmicas que contribuyen al movimiento, la distancia al origen de los temblores, la magnitud máxima que se puede originar y del tipo de suelo y condiciones topográficas del lugar. En diversas partes del mundo se ha mostrado que mientras más instrumentadas están las ciudades, mejor es el conocimiento del movimiento esperado del terreno al ocurrir fenómenos sísmicos. Con ello, se reduce la incertidumbre asociada a la estimación de las intensidades sísmicas y, por todo ello, se logra mitigar el riesgo sísmico. En este trabajo se muestran y analizan registros sísmicos obtenidos en los últimos años en la ciudad de Morelia con la Red Sísmica Nicolaita. La red sísmica se compone de diez acelerógrafos localizados en el norte, sur, este, oeste y en el centro histórico de la ciudad de Morelia. Se presentan también, algunos espectros de respuesta que permiten identificar las zonas de la ciudad con mayor amplificación, y la diferencia de las características dinámicas de los suelos donde se localizan las estaciones sísmicas. Los resultados revelan la gran importancia de contar con una red sísmica para mitigar el riesgo de una ciudad y para establecer medidas de prevención que reduzcan los desastres producidos por fenómenos naturales



ABSTRACT

The reduction of seismic damages in a site is related to the better knowledge of the dynamic movement of the soils. The seismic intensity depends on the type of seismic sources, the epicentral distance, the maximum magnitude that can originate the seismic source, the type of soil and the topographic conditions of the place. In several cities of the world, it has been shown that the more instrumented cities are, the better the knowledge of the expected movement of the ground when the seismic phenomena occur. Recorded motions reduce the uncertainty associated with the estimation of seismic intensities and, therefore, the seismic risk is mitigated. This study shows and analyzes seismic records obtained in recent years in the city of Morelia with the Nicolaita Seismic Network. The seismic network is composed of ten accelerometers located in the North, South, East, West and in downtown of the city of Morelia. Response spectra are also presented that allow identifying the areas of the city with greater amplification, and the diversity of dynamic characteristics of the soils where the seismic stations are located. The results reveal the great importance of installing a seismic network to mitigate the risk of a city and to establish prevention actions to reduce disasters produced by earthquakes.

Palabras clave: Daños sísmicos, Peligro Sísmico, Amplificación del suelo, Aceleraciones Máximas del terreno, Corrección de línea base.



ÍNDICE

Agradecimientos.....	2
RESUMEN.....	3
ABSTRACT	4
OBJETIVO.....	7
INTRODUCCIÓN.....	7
SISMICIDAD EN EL MUNDO Y EN LA REPÚBLICA MEXICANA.....	7
Placa tectónica.....	8
Deriva continental.....	9
Fallas de subducción o convergencia	11
Fallas Transcurrentes	12
Fallas Normales.....	13
SISMICIDAD EN LA REPÚBLICA MEXICANA	17
La Placa de Norteamérica.....	18
La Placa de Cocos	18
La Placa del Pacífico	18
La Placa de Rivera	19
La Placa del Caribe.....	19
Terremotos ocurridos en México.....	19
Sismos de Subducción en México.....	21
Sismicidad en Estado de Michoacán	21
Temblores del 19 y 20 de septiembre de 1985	22
Equipos de medición y Red sísmica Nicolaita.....	23
Redes sísmicas en ciudad de Morelia	24
Registros sísmicos de la red y corrección de línea base	25
Acelerograma del temblor registrado el 21 de marzo del 2019	26
Acelerograma del temblor registrado el 30 de enero del 2020 en Coyuca de Benítez Guerrero.....	31
Acelerograma del temblor registrado el 23 de junio del 2020 en Crucecita Oaxaca.....	35
Acelerograma del temblor registrado el 07 de septiembre del 2021 en Acapulco Guerrero.....	41
Espectros de respuesta.....	51



Espectros de respuesta del temblor 21 de marzo del 2019	51
Espectro de respuesta del temblor 30 de enero del 2020	53
Espectros de respuesta del temblor Crucecita Oaxaca	54
Espectro de respuesta del temblor Guacamayas Michoacán	56
Espectro de respuesta del temblor Morelia Michoacán	57
Espectro de respuesta del temblor Petatlán Guerrero	59
Espectro de respuesta del temblor San Marcos Guerrero.....	62
Espectro de respuesta del temblor Cd Hidalgo Chiapas	63
Espectros de respuesta del temblor Huetamo Michoacán	65
Espectros de respuesta del temblor Nueva Italia Michoacán	67
Espectros de pseudoaceleración de los temblores Pinotepa Nacional Oaxaca.....	68
Espectros de Seudoaceleración del temblor Acapulco Guerrero	71
Aceleraciones máximas del suelo registradas en las redes sísmicas del Nicolaita.....	72
Aceleraciones Cuadrática Media en la Red Sísmica Nicolaita	74
Coeficientes espectrales de la aceleración cuadrática media.....	84
Valor medio de cocientes espectrales en Morelia.....	91
Cocientes de la espectral máxima	93
Conclusiones.....	94
Referencias	95



OBJETIVO

Estudiar, analizar y procesar los movimientos del suelo ante eventos sísmicos registrados en la ciudad de Morelia dentro de la Red Sísmica Nicolaita.

INTRODUCCIÓN

El sismo es uno de los fenómenos naturales que ocurren frecuentemente. Es un fenómeno que no está a la alcance del hombre para poder evitarlo. México tiene una actividad sísmica importante debido a que está ubicado dentro del área denominada Cinturón de Fuego, que se caracteriza por su alta actividad sísmica por el movimiento de placas tectónicas. La energía que se libera en esta zona representa el 90% de la energía que producen los temblores en el mundo. En los últimos años han ocurrido más 25 sismos con magnitudes mayores de 6.5 que han ocasionado daños importantes en las construcciones y, peor aún, pérdida de vidas humanas. Es por eso que es importante estudiar el movimiento de los suelos, para incrementar el conocimiento y con ello intentar reducir los daños sísmicos. En el mundo se ha demostrado que mientras más instrumentada esté una población, mayor es el conocimiento adquirido de los movimientos del suelo cuando ocurran estos fenómenos sísmicos. La ciudad de Morelia es una de las ciudades mejor instrumentadas sísmicamente en el país.

En esta investigación se obtendrán espectros de respuesta de los acelerogramas registrados en Morelia en los últimos cuatro años, que permitirán identificar las zonas de la Ciudad con mayor amplificación sísmica. También se identificarán los suelos de la ciudad que registran las mayores aceleraciones cuando ocurre un evento sísmico.

SISMICIDAD EN EL MUNDO Y EN LA REPÚBLICA MEXICANA

La explicación a muchos de los fenómenos sísmicos que han ocurrido en los últimos años es que son consecuencia de fallas tectónicas y del movimiento de las placas tectónicas. Desde al punto de vista geológico, las zonas conocidas como las más activas del mundo forman dos grandes alineaciones de miles de kilómetros de longitud y sólo unos pocos de ancho.



Placa tectónica

La tierra está formada por un núcleo, rodeado por el manto, y en el perímetro exterior se encuentra la corteza terrestre que hace posible el movimiento constante, donde origina los eventos sísmicos y volcánicos. En los continentes, la corteza terrestre tiene espesores de 40 km y en los mares alcanzan los 10 km de espesor. Los fragmentos que divide la corteza se conoce como tectónica de placas.

En el interior de la corteza se encuentra el manto que se divide en dos capas (también conocidas como roca fundida) en donde se origina la lava que arrojan los volcanes. Hacia el interior de la corteza se incrementan la temperatura y la densidad, se estima que el núcleo interno alcanza hasta 4200 °C y su densidad es de hasta 13 veces más que la de agua, mientras que el manto superior alcanza los 1000 °C (figura 1). Esos dos factores pueden explicar los grandes movimientos ya que se producen al interior grandes corrientes de convección que generan los desplazamientos de las placas.

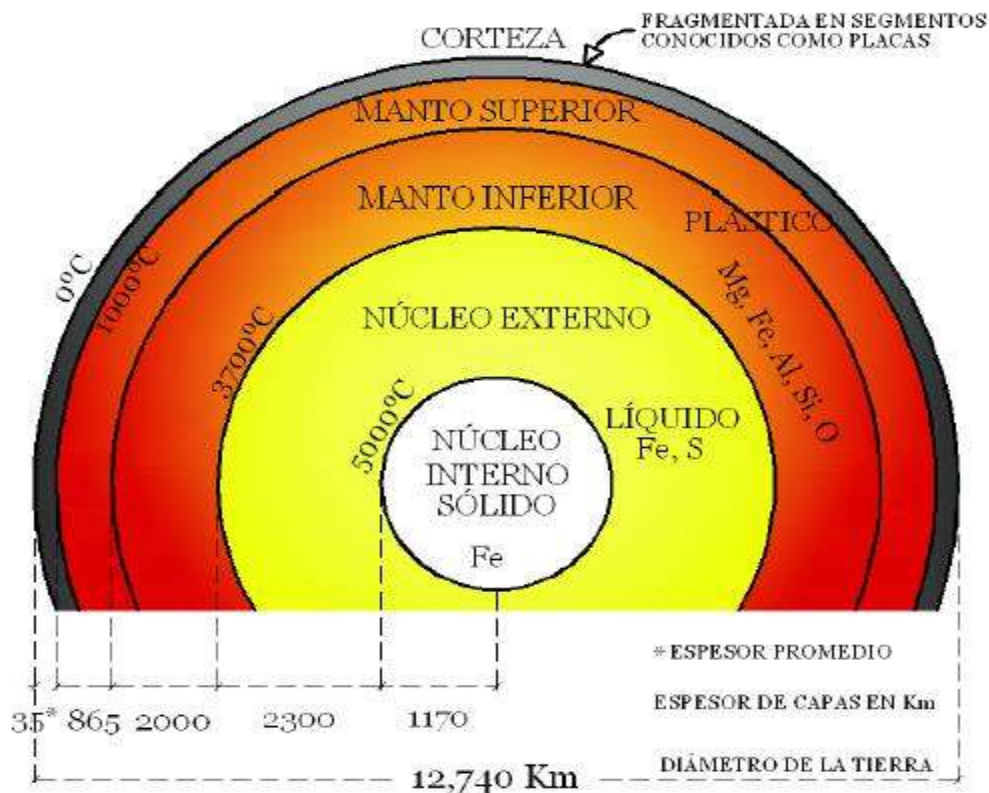


Figura 1. Composición interna de la tierra (tomada de Jara y Jara, 2007)

Deriva continental

Debido a la gran fluidez del manto y por las altas temperaturas se producen corrientes de convección. La figura 2 muestra el manto de la tierra, el manto caliente se va surgiendo en la parte profundo mientras que el manto que se va enfriando se va hundiendo, creando corrientes de convección el cual son responsables de generar movimientos de las placas de corteza terrestre.

El movimiento constante de la corteza terrestre ha originado la forma de los continentes que conocemos en la actualidad. Este movimiento es también responsable de la formación de las distintas fuentes sísmicas de la tierra

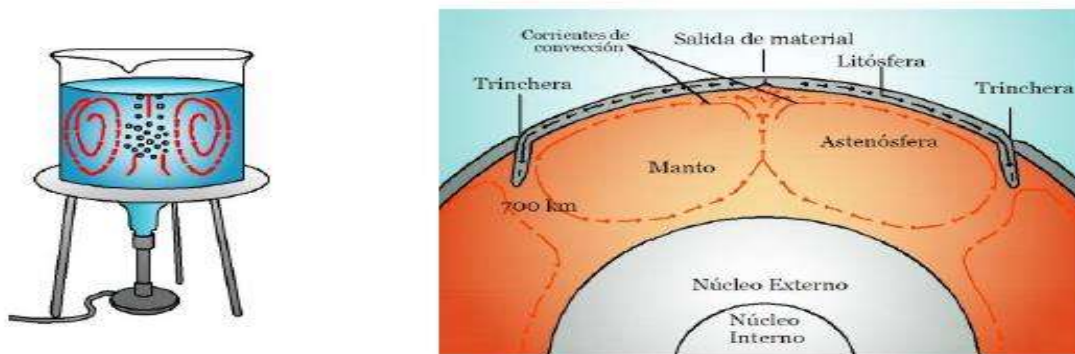


Figura 2. Corrientes de convección que produce el movimiento de la corteza (tomada de Jara y Jara, 2007)

En un inicio, el astrónomo y meteorólogo alemán **Alfred Wegener** propuso que los continentes tenían formas que parecían encajar unos con otros, además de que existían poblaciones de seres vivos que podrían estar conectados por sus características evolutivas, pero que se encontraban a miles de kilómetros distanciados (figura 3).

El alemán Alfred Wegener consideraba que los continentes de la tierra habían estado unidos hace millones el cual le denominó Pangea, que era un supercontinente (figura 4). Al paso del tiempo unos 200 millones de años atrás Pangea comenzó a fracturarse y disgregarse lentamente las placas a causa de las fuerzas internas de la tierra hasta alcanzar la situación actual de los continentes. Aunque todavía se sigue disgregándose generando movimientos de tierra.

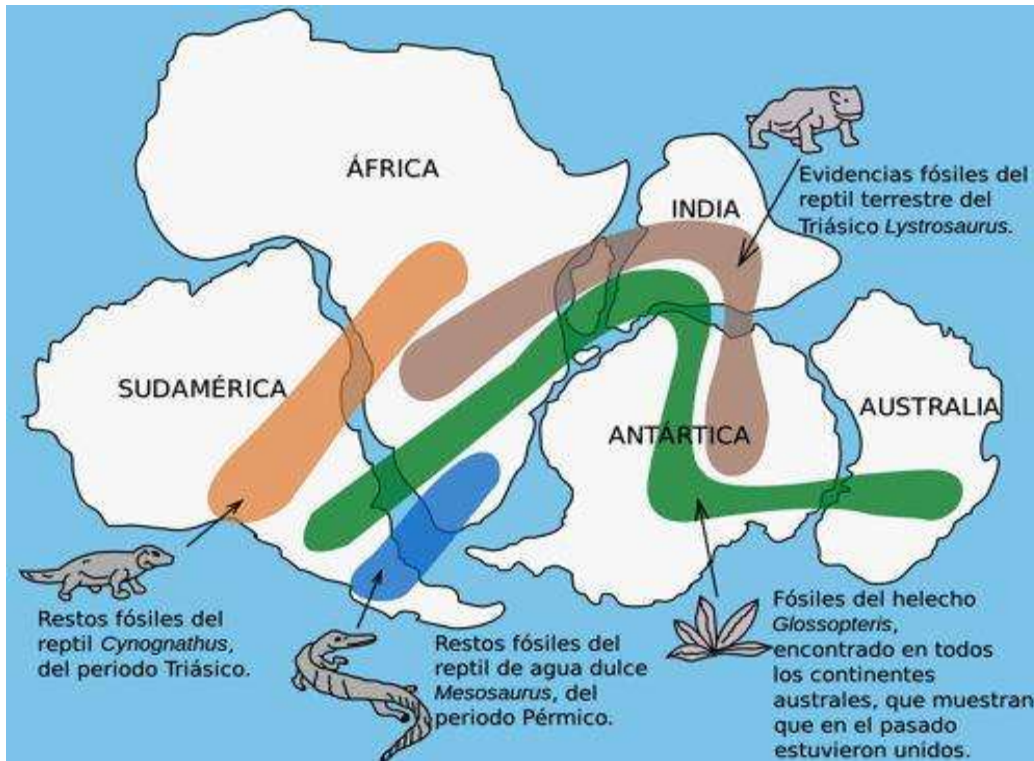


Figura 3 (Pangea continental tomada de <https://www.astronomia.com>)

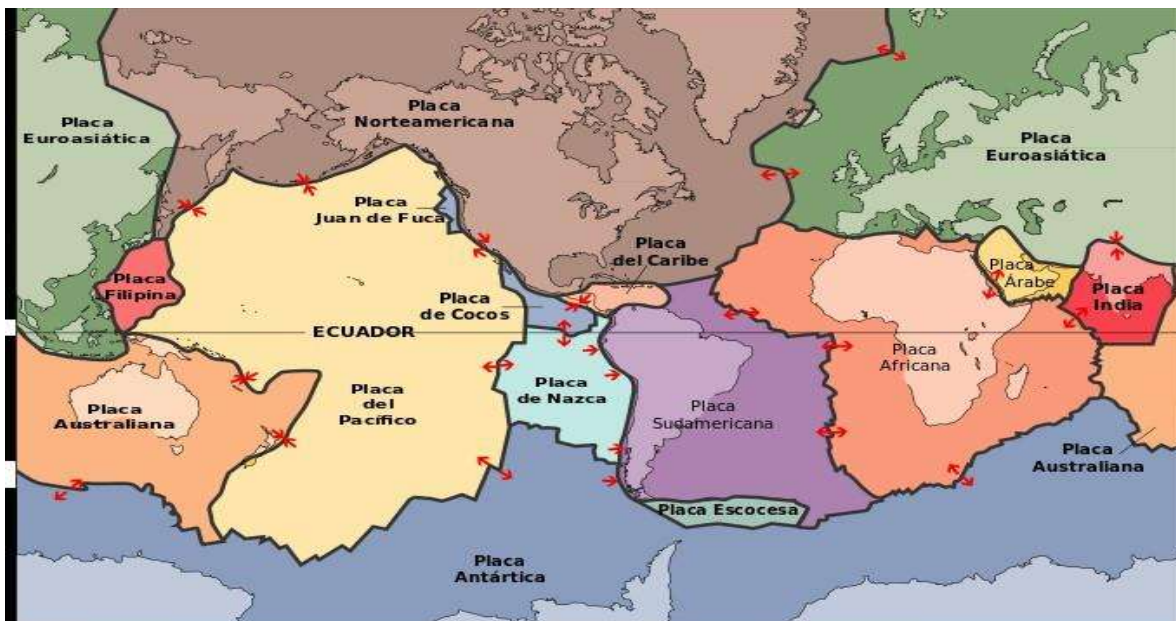


Figura 4. Mapa que muestra la ubicación y movimiento de las placas en la corteza terrestre (tomada de <https://www.nationalgeographic.com> 10/Sep/2021)

Las principales fuente sísmicas originadas por el movimiento de las placas tectónicas son las siguientes:

Fallas de subducción o convergencia

En las zonas de subducción (choque de placas) son fallas que ocurren cuando dos placas entran en contacto generan un choque y a una de ellas se introduce debajo de la otra y le denomina fallas interplaca o de de subducción (figura 5). La litósfera es la capa más externa y rígida, que incluye la corteza y el manto superior. La corriente del manto superior va descendiendo y los materiales rocosos se vuelven a fundir.

Estas fallas se encuentran en la zona comprendida entre el Océano Pacífico y los continentes que están alrededor de ellas, donde se encargan de liberar más de 90% de energía sísmica anual. La mayoría las zonas de subducción de la tierra se encuentran alrededor de Cinturón de fuego que más adelante se hablará de ello.

El proceso de subducción también genera actividades volcánicas al fundirse la placa oceánica que se introduce debajo de la placa continental. Como consecuencia de este proceso se producen cordilleras con una alta actividad volcánica y sísmica.

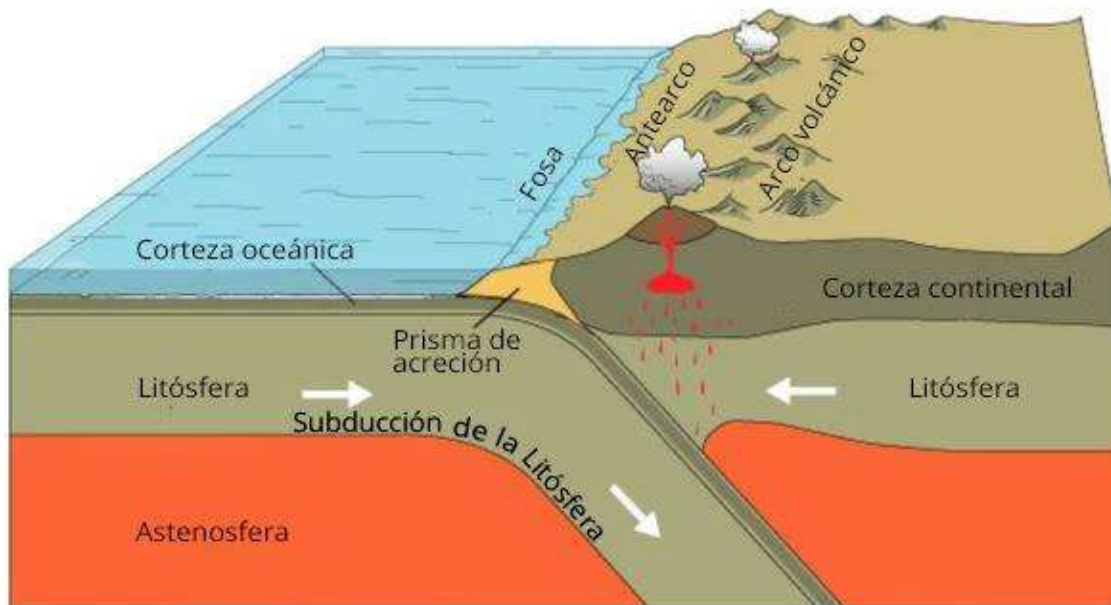


Figura 5. Representación gráfica de las zonas de subducción (tomada de <https://www.todosismo.com> 11 de septiembre 2021).



Fallas Transcurrentes

Se origina por el desplazamiento lateral de la placa respecto a la otra, su presencia se detecta gracias a las discontinuidades geológicas del terreno (figura 6). Estos tipos de fallas geológicas se originan a pequeñas profundidades y el tiempo de recurrencia es mayor que el de las fallas de subducción. Este tipo de eventos sísmicos se originan en el norte del país, en la península de Baja California y se extiende hasta el estado de California en los Estados Unidos.

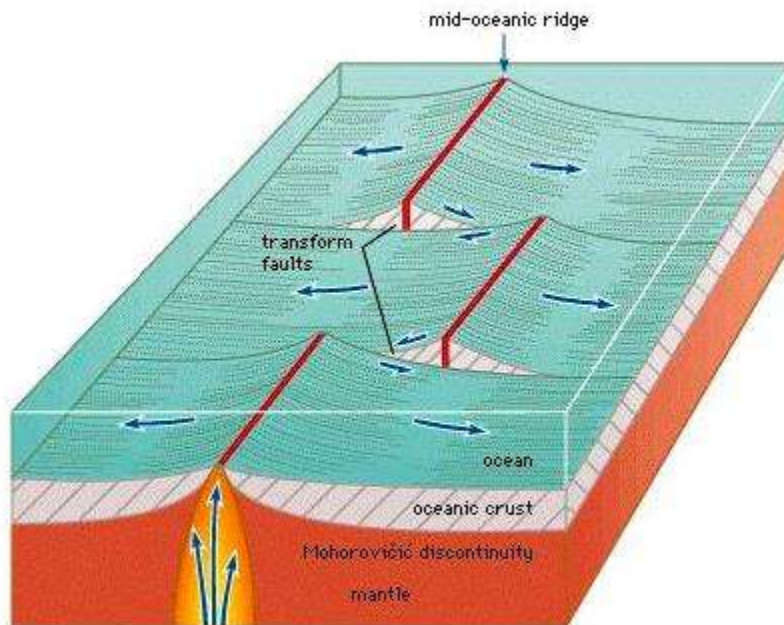


Figura 6 Falla de transformación (tomada de [limitestransformantes \(mec.es\)](http://limitestransformantes (mec.es)) 12 de septiembre del 2021)

Existen dos tipos de fallas de transformación, las que segmentan las dorsales mesoceánicas y las que forman los bordes pasivos entre placas tectónicas continentales.

Los bordes transformantes que forman bordes pasivos entre placas (figura 7), se desplazan una al lado de la otra horizontalmente sin original y destruir litósfera. Este tipo de falla como ejemplo es la falla de San Andrés California territorio de EE.UU. Una de las zonas más estudiadas al ser una zona muy poblada y con gran peligro sísmico, anualmente se producen alrededor de 300 terremotos de pequeña intensidad.



Figura 7 Falla de San Andrés (tomada de www.fallassismicas.com 12 de septiembre 2021)

Las que se producen en los bordes constructivos de placas son las que dividen las dorsales oceánicas en segmentos más o menos cortos de trazo recto.

Fallas Normales

Ocurren cuando la placa se fractura y se desplaza hacia abajo normalmente y suelen tener una inclinación de 60° disminuyendo con la profundidad. La mayoría de estos tipos de fallas se desplaza solo unos metros (figura 8) y pueden ser muy peligrosas por ser fallas superficiales.



Figura 8 Falla normal (tomada de <https://www.biodiversidadvirtual.org> 15 de septiembre 2021)



Desde al punto de vista geológico, las zonas conocidas como las más activas del mundo en estos términos forman dos grandes alineaciones de miles de kilómetros de longitud y sólo unos pocos de ancho. La figura 9 se muestra la distribución de regiones sísmicas y volcanes en el mundo y tiene relación directa con las placas tectónicas.

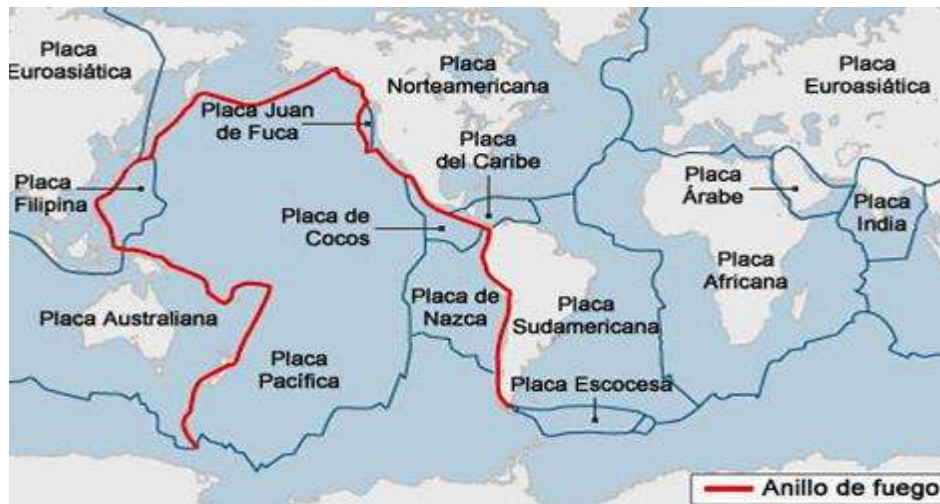


Figura 9 Cinturón de Fuego (tomada desde WWW.CIENCIAUANL.UANL.MX 10 de septiembre 2021)

El Cinturón Circumpacífico (conocido como "Cinturón de Fuego") rodea casi totalmente el océano pacífico y se extiende a lo largo de las costas de América del Sur, México y California hasta Alaska; después continúa por las islas Aleutianas, antes de dirigirse hacia el sur a través de Japón y las Indias orientales.

Otros tipos de Cinturón en el mundo (figura 10):

- Cinturón Eurasiático-Melanésico, (Alpino-Himalaya) que incluye las cordilleras alpinas de Europa y Asia, conectando con el anterior en el archipiélago de Melanesia. Desde España se prolonga por el Mediterráneo hasta Turquía, el Himalaya y las Indias Orientales. Esta inmensa falla se produce por las plataformas Africana e India que se mueven hacia el norte rozando levemente la plataforma Euroasiática. Aunque la energía liberada aquí es menor que en el del Pacífico, a lo largo de los años ha producido devastadores terremotos, como el ocurrido en China en 1976, donde murieron más de 650 mil personas.

- Una tercera región altamente sísmica la formaría la Dorsal Mesoatlántica ubicada en el centro del Océano Atlántico.



Figura 10. Representación de los Cinturones en el mundo (tomada de <https://www.sgm.gob.mx> 12 de septiembre 2021)

Los servicios sismológicos determinan los parámetros hipocentrales de los sismos con epicentros en las zonas sísmicas de cada país. El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) reporta anualmente la ocurrencia de alrededor de 7,000 sismos. La figura 11 muestra los epicentros de los terremotos más grandes en el mundo reportados por la USGS en el periodo de 1933 a 2012.

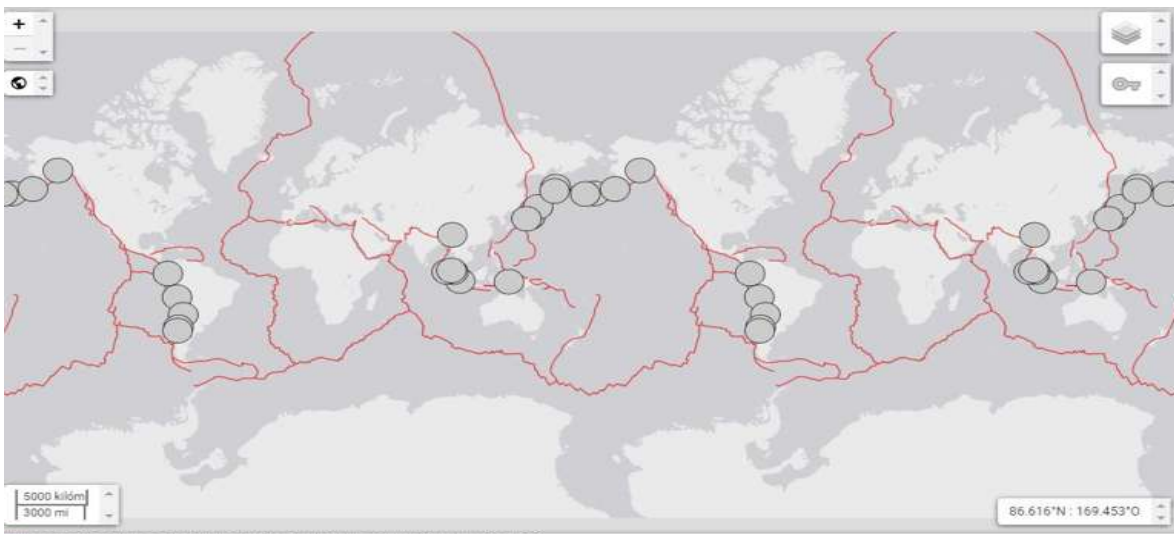


Figura 11 Sismos con magnitud mayor de 8.4 (<https://www.earthquake.usgs.gov> visitada el 18 de septiembre del 2021).



La tabla 1 se muestra los 20 terremotos más grandes que ha ocurrido en el mundo hasta esta fecha con mayor magnitud de 8.4 en el periodo de 1930-2012. Chile es el país que registró el sismo de mayor magnitud $M=9.5$, en el año 1960 y le sigue después el temblor de Alaska en 1964 con magnitud de 9.2

Tabla 1. Los Terremotos más grandes que han ocurrido en el mundo (fuente <https://www.usgs.gov> tomada el 12 de septiembre del 2021).

Fecha	latitute	longitudo	profundidad	mag	lugar
1960-05-22T19:11:20	-38.143	-73.407	25	9.5	chile
1964-03-28T03:36:16	60.908	-147.339	25	9.2	Sur de alaska
2004-12-26T00:58:53	3.295	95.982	30	9.1	Sumatra
2011-03-11T05:46:24	38.297	142.373	29	9.1	japon
1952-11-04T16:58:30	52.623	159.779	21.6	9	Rusia
1906-01-31T15:36:10	0.955	-79.369	20	8.8	Ecuador
2010-02-27T06:34:11	-36.122	-72.898	22.9	8.8	Chile
1965-02-04T05:01:22	51.251	178.715	30.3	8.7	Alaska
1946-04-01T12:29:01	53.492	-162.832	15	8.6	Sur de Alaska
1950-08-15T14:09:34	28.363	96.445	15	8.6	India
2012-04-11T08:38:36	2.327	93.063	20	8.6	Norte de Sumatra
2005-03-28T16:09:36	2.085	97.108	30	8.6	Indonesia
1957-03-09T14:22:33	51.499	-175.626	25	8.6	Alaska
1922-11-11T04:32:51	-28.293	-69.852	70	8.5	Chile
1938-02-01T19:04:22	-5.045	131.614	25	8.5	Indonesia
1963-10-13T05:17:59	44.872	149.483	35	8.5	Rusia
1923-02-03T16:01:50	54.486	160.472	15	8.4	Rusia
2001-06-23T20:33:14	-16.265	-73.641	33	8.4	Peru
1933-03-02T17:31:00	39.209	144.59	15	8.4	japon
2007-09-12T11:10:26	-4.438	101.367	34	8.4	Indonesia

La importancia de estudiar estos fenómenos sísmicos radica en que son responsables de causar grandes pérdidas de vidas humanas y materiales. La tabla 2 muestra las grandes pérdidas humanas en la historia a causa de la ocurrencia de temblores. Sin duda el terremoto que ocurrió en el año 2004 alcanzando una magnitud de 9.1 en Sumatra es el que supera todos los números de muertes (227898). Otro temblor que generó un gran número de pérdida de vidas (80,361) ocurrió en el año 2005 en Pakistán, con magnitud de $M=7.6$. Un dato importante en esta tabla es que los temblores que han causado grandes



pérdidas humanas son los que ocurrieron en el periodo de 1990-2005, lo que quiere decir que han transcurrido 16 años desde el último temblor que causó un gran número de muertes.

Tabla 2. Sismos con mayor cantidad de pérdida de vidas.

No.	Año	Magnitud	Región	Pérdida de vidas
1	2004	9.1	Sumatra	227,898
2	2005	7.6	Pakistán	80,361
3	1990	7.4	Irán	50,000
4	2003	6.6	Irán	31,000
5	2001	7.7	India	20,023
6	1906	8.2	Chile	20,000
7	1999	7.6	Turquía	17,118
8	1934	8.1	India	10,700
9	1993	6.2	India	9,748
10	1985	8.0	México	9,500
11	1976	8.0	Filipinas	8,000
12	2006	6.3	Java, Indonesia	5,749
13	1960	9.5	Chile	5,700

SISMICIDAD EN LA REPÚBLICA MEXICANA

La República Mexicana está situada en una de las regiones sísmicamente más activas del mundo, dentro del área conocida como el Cinturón Circumpacífico (cinturón de fuego). La alta sismicidad en el país, se debe principalmente a la interacción de las placas de Norteamérica con las placas de Cocos y de Rivera y con la placa del Caribe (figura 12). Existen también fallas locales en el área conocida como Eje Volcánico Trans-mexicano.

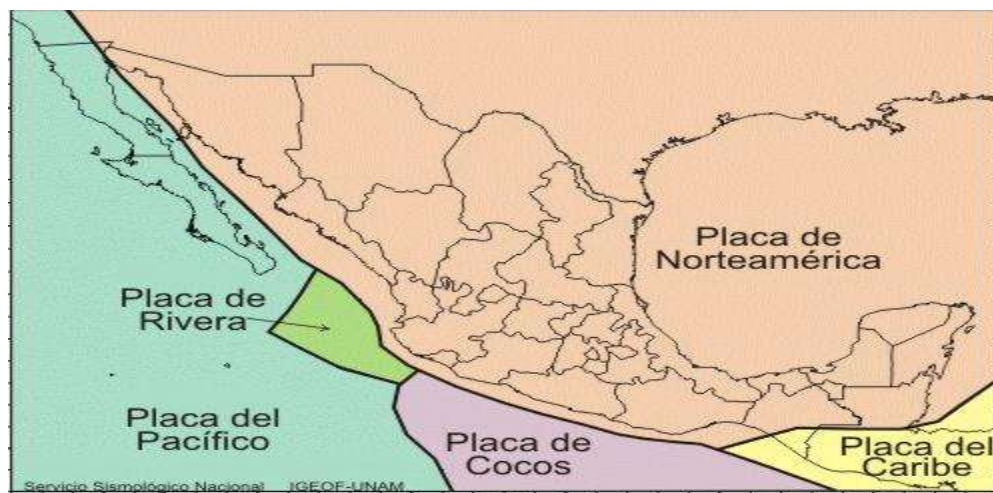


Figura 12 Placas tectónicas en la República Mexicana (tomada de www.ssn.unam.mx el día 15 de septiembre de 2021).



Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Michoacán, Colima y Jalisco son los estados con mayor sismicidad en la República Mexicana por la interacción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera que subducen bajo la de Norteamérica. Los Estados que frecuentemente tienen movimiento del terreno por la ocurrencia de estos eventos son afectados son: Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Veracruz, Tlaxcala, Morelos, Puebla, Nuevo León, Sonora, Baja California, Baja California Sur y el Distrito Federal.

La Placa de Norteamérica

Es la placa tectónica más grande de todo el planeta. Se encuentra en América del Norte, los archipiélagos de Cuba y las Bahamas. Incluye también la parte occidental del océano Atlántico Norte, la mitad occidental de Islandia, la parte del océano Glacial Ártico y el territorio siberiano al este de la cordillera Verjovansk.

La Placa de Cocos

La Placa de Cocos proviene de la antigua placa de Farallón que se fragmentó hace 23 millones de años. Se sitúa en el Océano Pacífico en la costa occidental de América Central. Limita con la Placa de Norteamérica por el noroeste y también con la Placa del Caribe.

El proceso de subducción (interplaca) causa con frecuencia grandes sismos y en México. Uno de ellos, el 19 de septiembre de 1985, con epicentro en Michoacán, fue resultado de la subducción de la Placa de Cocos, bajo la Placa de Norteamérica. Los dos terremotos ocurridos en México el 7 y el 19 de septiembre del 2017, se originaron en fallas de tipo intraplaca.

La Placa del Pacífico

Abarca la mayor parte del Océano Pacífico. Esta placa tiene como característica principal contar con los puntos calientes subyacentes responsables del origen de las islas de Hawái y otros archipiélagos volcánicos.



La Placa de Rivera

Es una placa pequeña y se localiza al oeste de México, al sur de la península de Baja California. Limita al noroeste con la zona de Fractura de Tamayo y al este por la Trinchera Mesoamericana.

La subducción de esta placa bajo la de Norteamérica causó el terremoto más grande del siglo pasado, en el estado de Jalisco en 1932 y tuvo una magnitud de 8.2. También fue responsable del terremoto de Jalisco de octubre de 1995 que causó muertes y pérdidas materiales, y del terremoto de Colima del 21 de enero de 2000.

La Placa del Caribe

Incluye una superficie de 3.2 millones de km² que abarca una parte continental de América Central (Guatemala, Belice, Honduras, Nicaragua, El Salvador, Costa Rica y Panamá) y el fondo del mar Caribe al norte de la costa de América del Sur. Esta placa se mueve en dirección sureste y limita con la Placa Norteamericana, la Placa Sudamericana y la Placa de Cocos.

Terremotos ocurridos en México

Las principales fuentes sísmicas en la República Mexicana son las fallas de subducción, las fallas de transformación, las fallas normales de profundidad intermedia y las fallas locales. La figura 13 muestra un catálogo de epicentros de los temblores grandes que han ocurrido en México desde 1985 hasta 2021. El mayor número de eventos sísmicos se presentan en la zona de subducción, que es la zona más activa y que generalmente los temblores de mayor magnitud no solo en la República Mexicana sino también en el mundo. La zona de subducción comprende toda la costa del Pacífico, entre Puerto Vallarta en el estado de Jalisco, hasta Tapachula Chiapas. A lo largo de esta extensión se han producido los eventos sísmicos más grandes en la historia de México (figura 14). En el norte de México se presentan las fallas de transformación, la mayor magnitud que ha ocurrido en la zona es de $M=7$. Las fallas normales ocurren más en el interior del continente y la falla local produce temblores menos frecuentemente, aunque por ser superficiales representan un peligro importante para las ciudades del centro de la República Mexicana.



Figura 13. Catálogos de sismos más grandes en México en el último siglo (tomada desde www2.ssn.unam.mx el día 25 de septiembre de 2021)

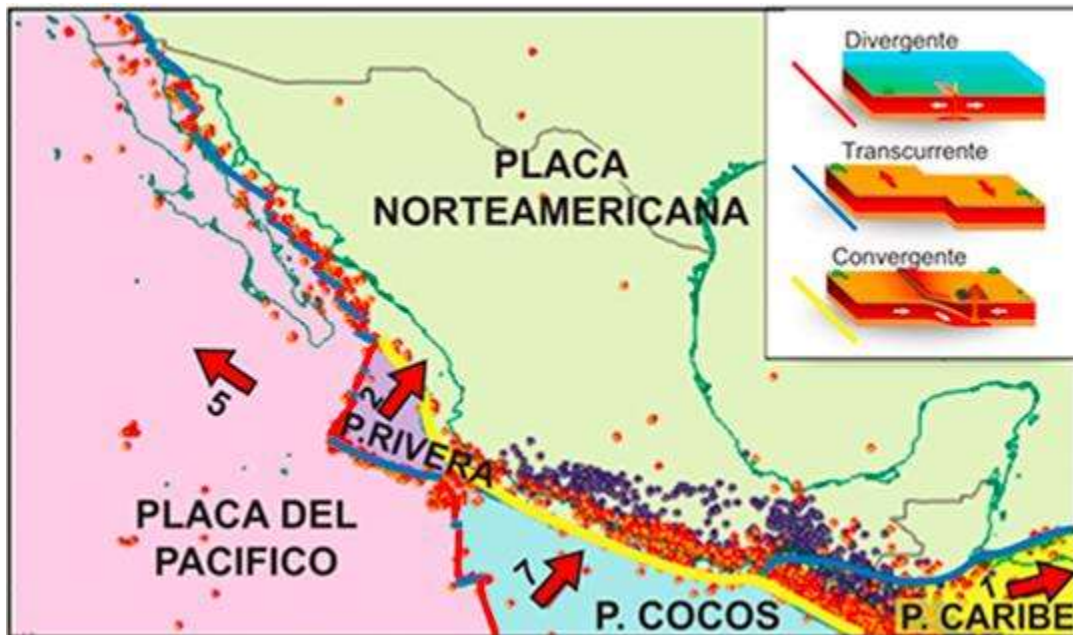


Figura 14 Epicentros de temblores en México (tomada de <https://www.sgm.gob.mx> el 25 de septiembre 2021)



Sismos de Subducción en México

Los grandes sismos de subducción que han ocurrido en México varían en la longitud de ruptura desde 50 hasta 200 kilómetros. Como se describió anteriormente, los sismos de subducción ocurren por el contacto de la placa de Norteamérica con las placas de Cocos y Rivera. El sismo más grande del siglo XX se registró en el año 1932 y ocurrió en las costas de Jalisco con una magnitud de $M=8.2$. Su longitud de ruptura fue de 280 km. Otro sismo de suma importancia por los daños que provocó es el temblor del 19 de septiembre de 1985, con magnitud $M=8.1$ longitud de ruptura en costa de Michoacán de alrededor de 200 km. La ciudad de México fue la más afectada por este evento telúrico.

Sismicidad en Estado de Michoacán

El estado de Michoacán se ve afectado por la ocurrencia de temblores interplaca (subducción) que desde luego son los más frecuentes y el mayor magnitud presenta, intraplaca (eventos de profundidad intermedia) y temblores locales (de origen superficial).

El sismo de Michoacán del 19 de septiembre de 1985 con origen de subducción tuvo epicentro cerca de la desembocadura del río Balsas alcanzando una magnitud $M=8.1$. El evento se produjo en lo que se conocía como la brecha sísmica de Michoacán; la brecha sísmica es un segmento de una falla activa que durante un largo tiempo no ha sido objeto de un deslizamiento. La ausencia de grandes sismos en dicho segmento de una falla durante mucho tiempo indica que va acumulando energía importante y que crece día a día hasta alcanzar un punto donde libera toda la energía acumulada pudiendo ser el más catastrófico como el que sucedió en 1985.

El último gran sismo del que se tenía noticia fue un temblor de $M=7.9$ en el año 1911; desde entonces sólo había tenido actividad sísmica cuando ocurrió otro temblor en la misma zona cerca de Playa Azul, en 1981. Sin embargo, la magnitud $M=7.3$ no fue lo suficientemente grande para liberar la energía acumulada en la brecha de Michoacán. El sismo de Playa Azul deslizó un segmento de la falla de subducción de 40 km de longitud mientras la brecha sísmica de Michoacán era casi 220 km de longitud, resultaba claro que sucedería o liberaría otra energía sísmica con más potencial que el de 1911 en la brecha sísmica de Michoacán. Cabe mencionar que durante el temblor de 1985, anterior a este, sucedieron otros dos temblores importantes, Figura 15 muestra la brecha sísmica de Michoacán que delineada por las áreas de ruptura de falla de los sismos de Colima de 1973 y de Petatlán en 1979.

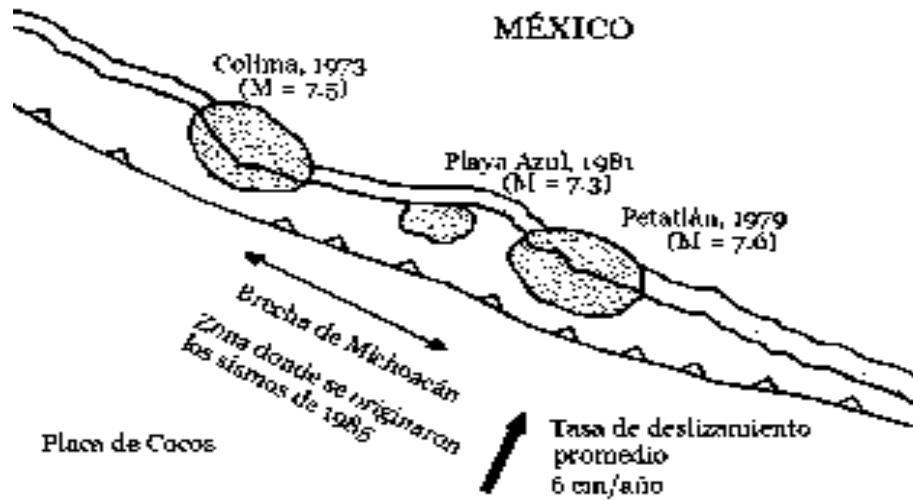


Figura 15 Brecha sísmica de Michoacán antes del sismo de 19 de septiembre del 1985 (tomada de Jara y Jara, 2007)

Temblores del 19 y 20 de septiembre de 1985

Después de los grandes sismos mencionados inmediatamente se instalaron redes de sismógrafos portátiles. Estas redes permitieron estimar las localizaciones con mayor precisión los epicentros y las profundidades de las réplicas por el terremoto principal. La Figura 16 muestra la localización epicentral de los sismos del 19 y 20 septiembre y las réplicas liberados en un lapso de 14 días aproximadamente.

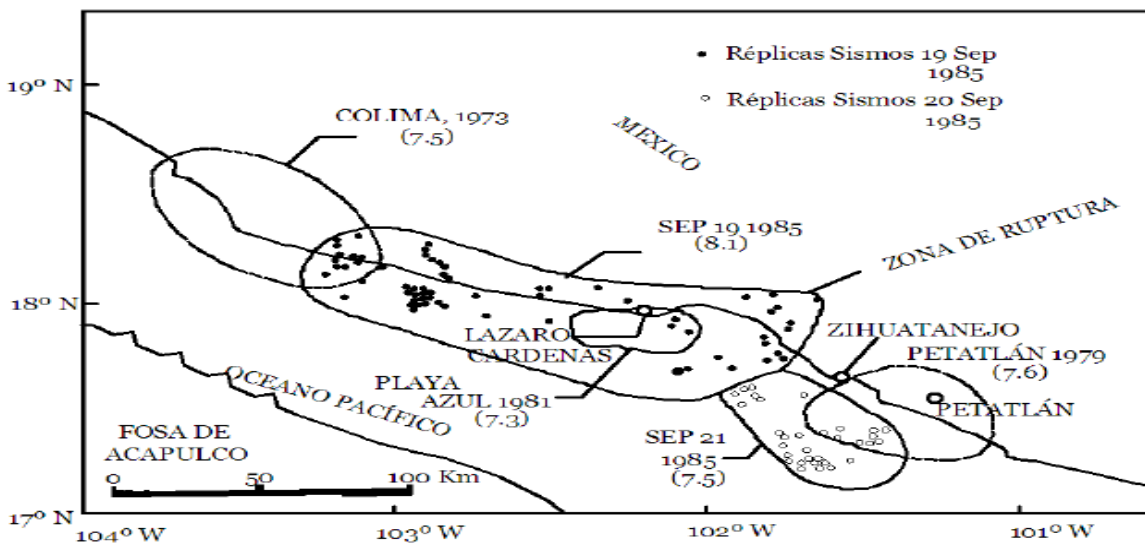


Figura 16. Sismos y replicas ocurridos el 19 y 20 de septiembre de 1985 (tomada de Jara y Jara, 2007)



En los últimos años que va desde 2000 a 2021 solo ha ocurrido un sismo de magnitud 7.0 ocurrido en la costa de Michoacán, según Servicio Sismológico Nacional.

Equipos de medición y Red sísmica Nicolaita

La ciudad de Morelia percibe la ocurrencia de terremotos principalmente originados en las fuentes sísmicas de subducción, normal y falla local. También existe una amplificación sísmica por condiciones geológicas. Este tipo de amplificación se ha observado en la loma de Santa María gracias a las redes de acelerógrafos que están instalados en la Ciudad de Morelia. Cuando se mostró la amplificación sísmica en esta zona, Morelia solo se contaba con tres acelerógrafos.

La capital de Michoacán actualmente cuenta con diez acelerógrafos siete más de lo que se contaba antes. Se llevó a cabo la inauguración de la Red Sísmica Nicolaita el 19 de septiembre del 2019. Siendo así, la ciudad de Morelia se convirtió en una de las ciudades en México con mejor equipamiento de redes sísmicas para el estudio de los fenómenos sísmicos.

Los acelerógrafos son de consola Basalt y cuentan con sensores acelorómetricos en tres direcciones ortogonales (vertical, Norte-Sur y Este-Oeste), además de que cuenta con una antena GPS para tener actualizado la hora (figura 17)

Transformador de corriente y batería
Mod. 112000-04-PL
Marca: KINEMETRICS



Antena GPS



Figura 17. Consola Basalt y antena GPS



Redes sísmicas en ciudad de Morelia

El origen de la Red se remonta a tres acelerógrafos que se instalaron en: Ciudad Universitaria (CU), la escuela Luz Alou de Torres Manzo y al sur de la ciudad, en la loma de Santa María, dentro de las instalaciones de la Universidad Vasco de Quiroga. Posteriormente se instalaron siete equipos más en: Facultades de Veterinaria, Medicina y Psicología, en las instalaciones de Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), en el Instituto de Investigación sobre los recursos naturales (INIRENA), en el Colegio Primitivo y Nacional de San Nicolás de Hidalgo y por último en la Cámara Mexicana de la Industria y la Construcción (CMIC). Todos ellos siguen en operación y forman parte de la Red Sísmica Nicolaita perteneciente a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

A continuación se muestra un mapa satelital (figura 18), donde se observa la capital de estado y a la vez, la ubicación de las redes sísmicas marcadas con etiqueta amarilla.



Figura 18. Localización geográfica de red sísmica en ciudad de Morelia.



Registros sísmicos de la red y corrección de línea base

Un problema que se ha estudiado desde que instalaron los equipos es el de cómo obtener la máxima información confiable de los acelerogramas para lo cual se considera dos aspectos esenciales: el primero es la evaluación de los sistemas de operación y el mantenimiento de los equipos, el otro es la digitación y procesamiento óptimo de los acelerogramas.

La digitalización consiste en representar el registro continuo mediante puntos característicos de los acelerogramas mientras que el procedimiento consiste en calcular la velocidad, el desplazamiento y la aceleración y el espectro de respuesta, por lo cual todo requiere conocer la posición de la línea de aceleraciones nulas, denominada línea base.

Desde el 2018 hasta el mes de octubre del 2021 se han registrado 15 temblores importantes y todos ellos fueron percibidos en la ciudad de México. Cabe mencionar que algunas estaciones sísmicas no registraron todos los eventos, debido a la pequeña intensidad en la ciudad o a que alguna de ellas no se encontraba en operación al momento de la ocurrencia del temblor.

A continuación (tabla 3) se muestran los temblores registrados en Morelia de 2018 a la fecha, con su respectiva fecha de ocurrencia, sus coordenadas geográficas, su magnitud y las profundidades del epicentro.

Tabla 3. Temblores registrados en la Red Sísmica Nicolaita

fecha	localizacion	lat	lon	profun (km)	magnitud	fecha UTC
21/03/2019	Cd. Altamirano, Gro	18.2233	-101.005	63.6	4.8	22/03/2019
30/01/2020	Coyuca de Benitez, Gro	16.8308	100.1	17.5	5.3	30/01/2020
23/06/2020	Crucecita Oaxaca	15.8033	-96.1337	22.6	7.4	23/06/2020
12/02/2020	Guacamayas, Mich	18.3393	-101.836	67.2	4.7	12/02/2020
21-ene-20	Morelia, Mich	19.8623	-101.073	3.4	4.1	21-ene-20
06-abr-20	Petatlan Gro.	17.259	-101.34	5.6	5	07-abr-20
22-abr-19	Pinotepa Na. Oax.	15.958	-98.6733	15.8	5.5	22-abr-19
19-mar-21	San Marcos, Gro.	16.4755	-98.9322	10.7	5.7	20-mar-21
01-feb-19	Cd. Hidalgo, Chis	14.5818	-92.4807	76.2	6.5	01-feb-19
03-mar-19	Huetamo, Mich	18.3467	-101.441	71.4	5.1	03-mar-19
16-jun-19	Nueva Italia, Mich	18.5245	-101.753	65	5	16-jun-19
16-feb-18	Pinotepa Na. Oax.	16.218	-98.0135	16	7.2	16-feb-18
19-feb-18	Pinotepa Na. Oax.	16.2477	-97.775	10.2	6	19-feb-18
07-sep-21	Acapulco, Gro	16.78	-99.93	10	7.1	08-sep-21



Acelerograma del temblor registrado el 21 de marzo del 2019

El sismo del día 21 de marzo 2019 tuvo una magnitud de 4.8 con epicentro en Cd. Altamirano Guerrero. La figura 19 muestra el lugar donde ocurrió el epicentro sísmico y se registró en ocho estaciones como se muestra en la tabla 4, donde también se muestra la distancia entre el epicentro y de las estaciones.



Figura19. Epicentro, Cd Altamirano Gro (tomada desde www2.ssn.unam.mx 09/octubre/2021)

Tabla 4. Coordenadas geográficas y distancias epicentrales

FECHA: 21/marzo/2019				
ESPICENTRO	LAT	LONG	PROFUN (KM)	MAGNITUD
Cd. Altamirano, Gro	18.2233	-101.005	63.6	4.8

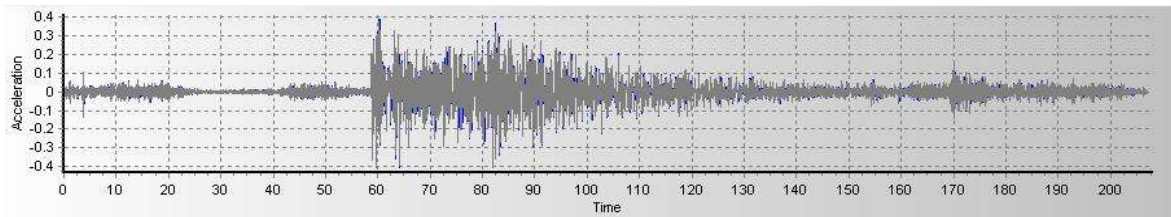
ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA (KM)
CMIC	19.6852778	-101.234972	164.5118469
CU	19.6898611	-101.204167	164.5719742
INIRENA	19.68987	-101.25023	165.2606115
MEDICINA	19.6969556	-101.1795	165.0460574
PSICOLOGÍA	19.719114	-101.18705	167.5861021
SAN NICOLAS	19.7037778	-101.194833	165.9871867
UVAQ	19.6752222	-101.179417	162.6414896
VETERINARIA	19.6973889	-101.166722	164.9497638

A continuación se muestran los registros sísmicos de aceleración (vertical, nortesur, este-oeste) de cada estación corregida y sin corregir (figura 20), del temblor

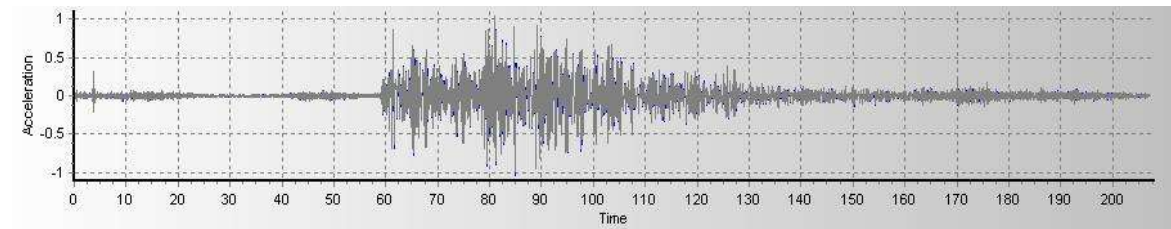


con epicentro en Cd. Altamirano, con la ayuda del programa SeismoSignal. En el eje vertical presenta la aceleración en (m/seg^2) mientras que en eje horizontal se muestra el tiempo en (s).

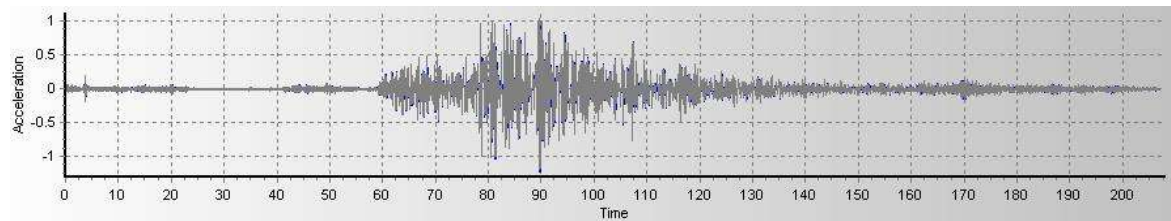
- Estación CMIC:



Componente Vertical



Componente N-S



E-W

Figura 20. Acelerogramas registrados en la estación CMIC

En las demás estaciones sísmicas se registró lo siguiente:

- Estación Ciudad Universitaria (CU)

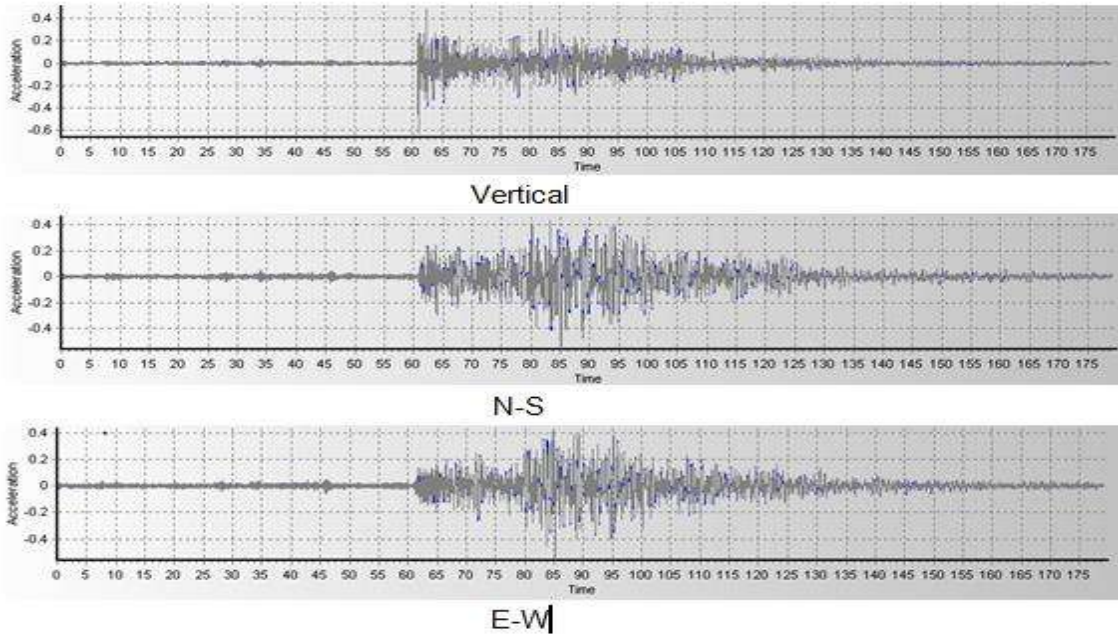


Figura 21. Acelerogramas registrados en la estación CU

- Estación INIRENA

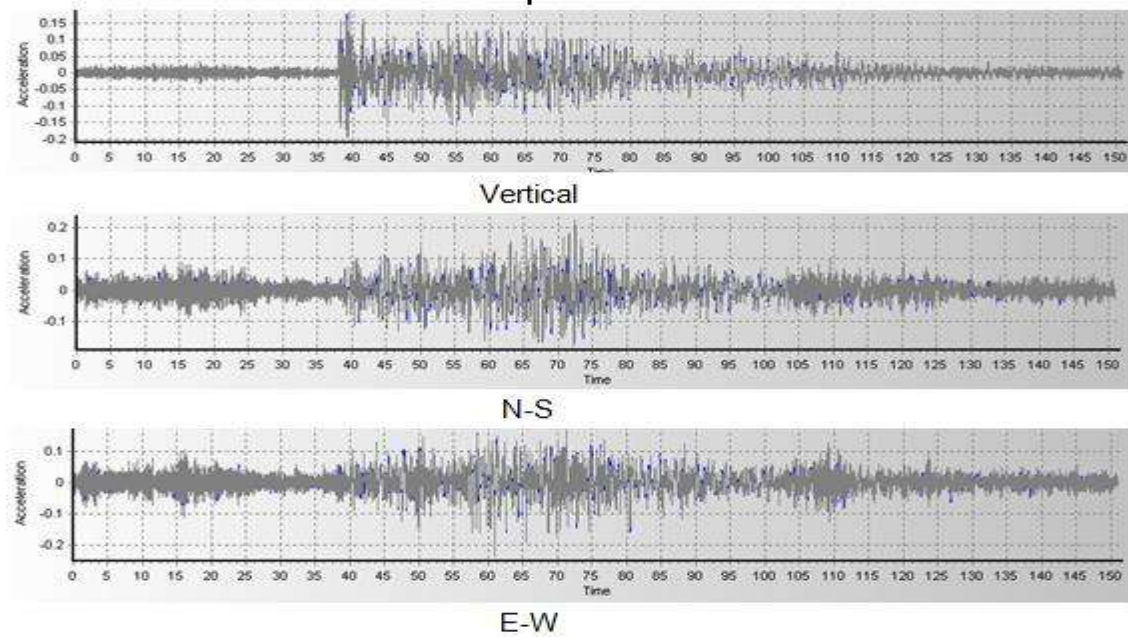


Figura 22. Acelerogramas registrados en la estación INIRENA

- Estación Medicina

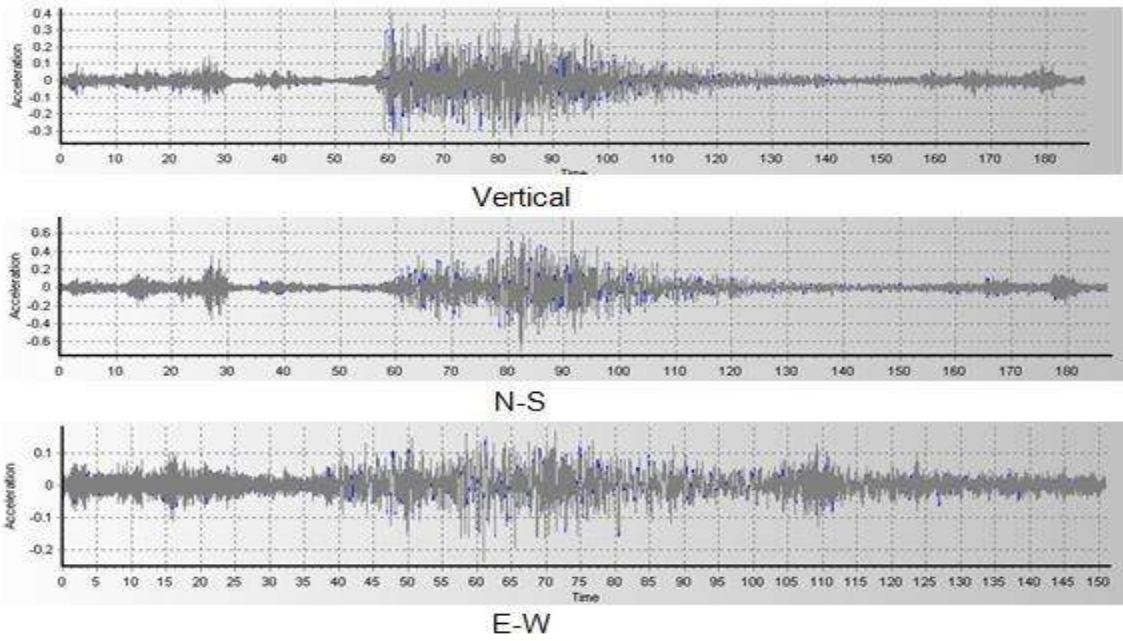


Figura 23. Acelerogramas registrados en la estación Medicina

- Estación Psicología

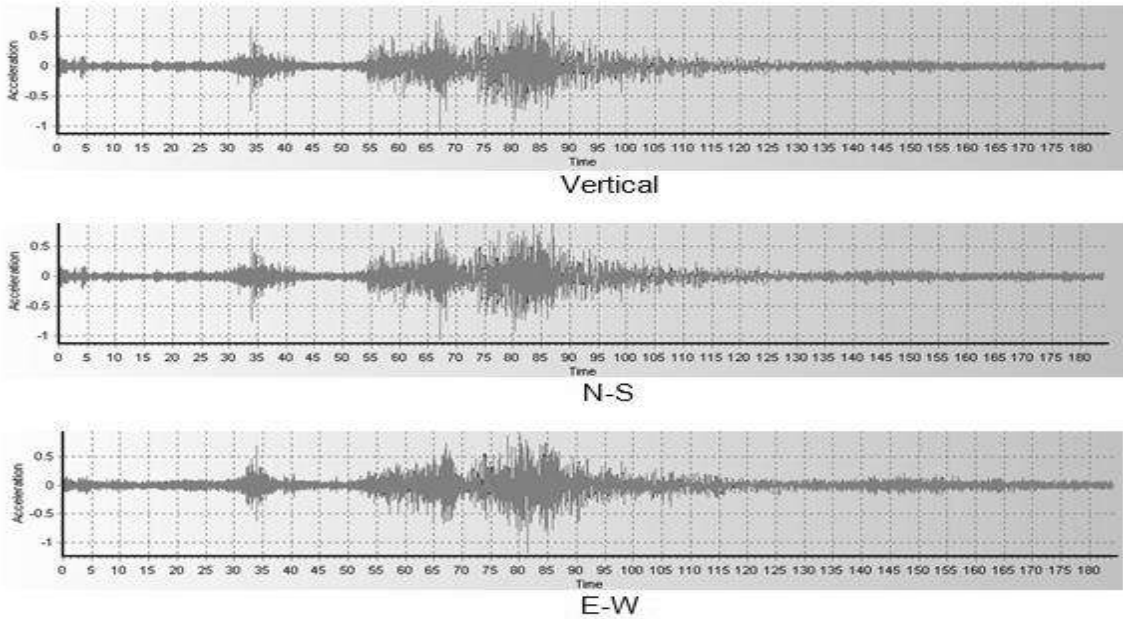


Figura 24. Acelerogramas registrados en la estación Psicología



- Estación San Nicolás

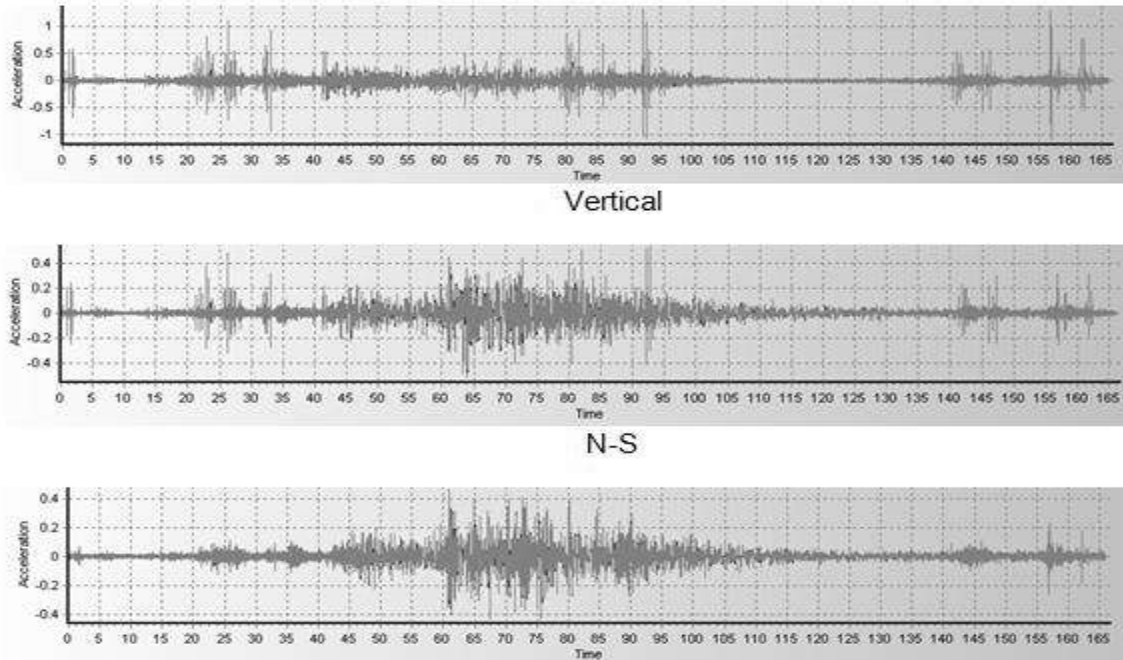


Figura 25. Acelerogramas registrados en la estación San Nicolás

- Estación UVAQ

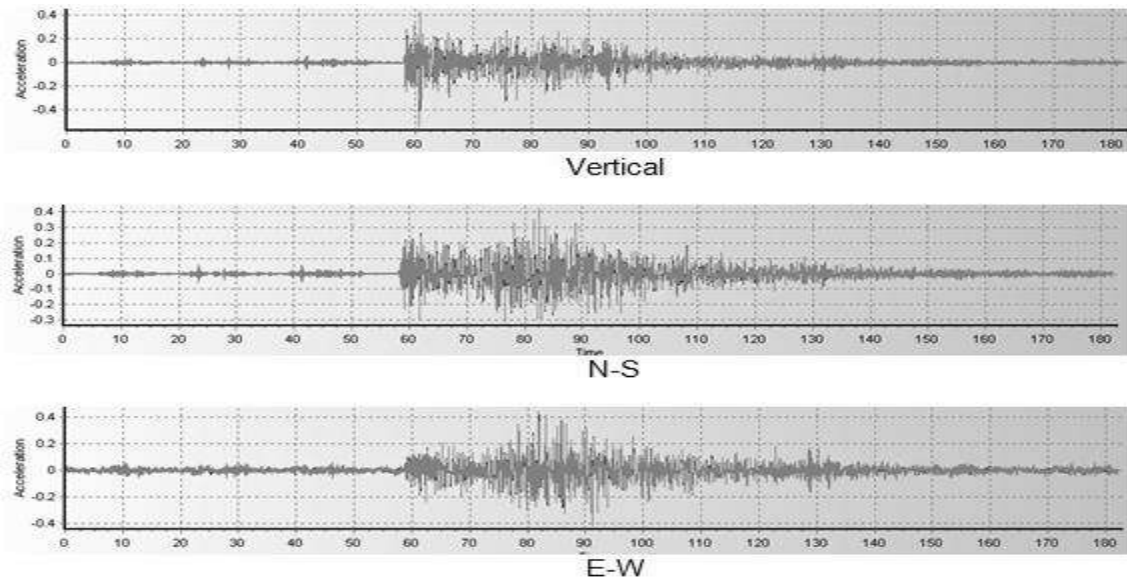


Figura 26. Acelerogramas registrados en la estación UVAQ

- Estación Veterinaria

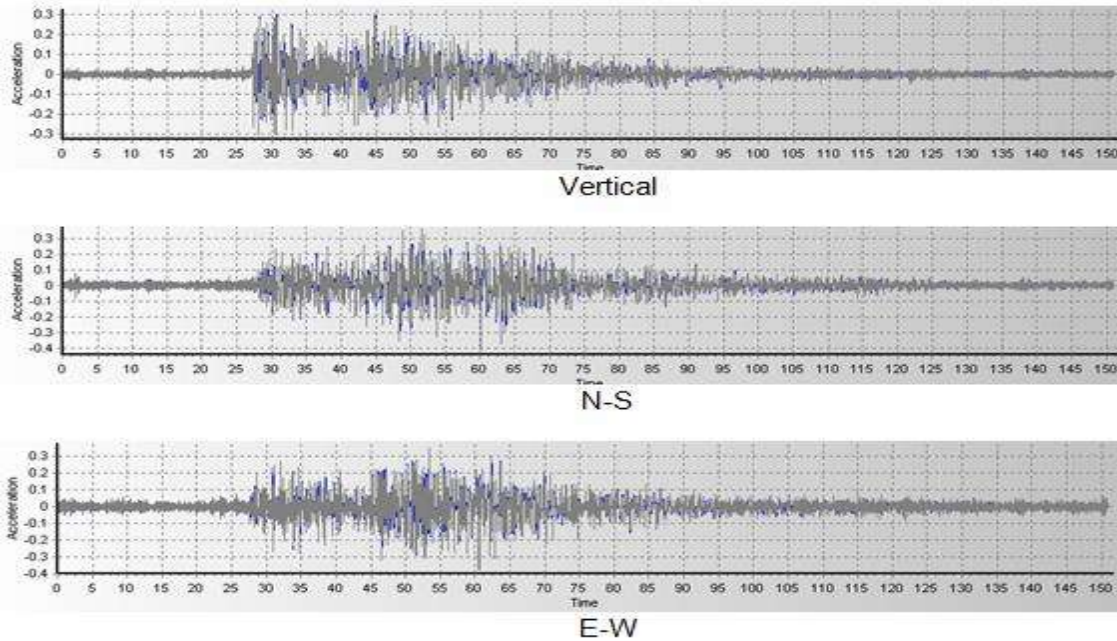


Figura 27. Acelerogramas registrados en la estación Veterinaria

Acelerograma del temblor registrado el 30 de enero del 2020 en Coyuca de Benítez Guerrero.

El temblor del 30 de enero del 2020 con el epicentro en Coyuca de Benítez Guerrero, tuvo una magnitud de $M=5.3$ (figura 28). Las aceleraciones se registraron en seis estaciones que se muestran en la (tabla 5).



Figura 28. Epicentro, Coyuca de Benítez Gro. (Tomada desde www2.ssn.unam.mx 09/octubre/2021)



Tabla 5. Temblor del 30 de enero del 2020

FECHA: 30/ene/2020				
ESPICENTRO	LAT	LONG	PROFUN (KM)	MAGNITUD
Coyuca de Benitez, Gro	16.8308	-100.1	17.5	5.3

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA (KM)
CMIC	19.6852778	-101.234972	339.598
CU	19.6898611	-101.204167	338.940
INIRENA	19.68987	-101.25023	340.647
MEDICINA	19.6969556	-101.1795	338.794
PSICOLOGÍA	19.719114	-101.18705	341.382
SCT	19.7103056	-101.233167	342.135

De la misma manera se muestran a continuación de los registros sísmicos de aceleración (vertical, norte-sur, este-oeste) de cada estación corregida y sin corregir en Coyuca de Benítez Gro. En el eje vertical presenta la aceleración en (m/seg^2) y en el eje horizontal se muestra el tiempo en (segundos).

- Estación CMIC

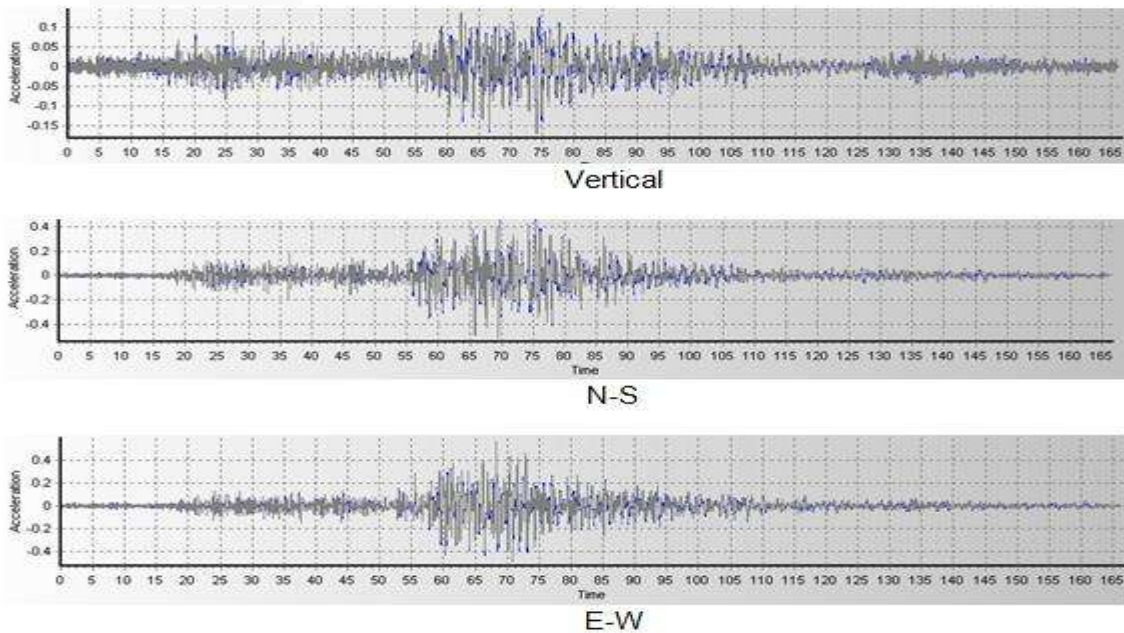


Figura 29. Acelerogramas registrados en la estación CMIC



- Estación CU

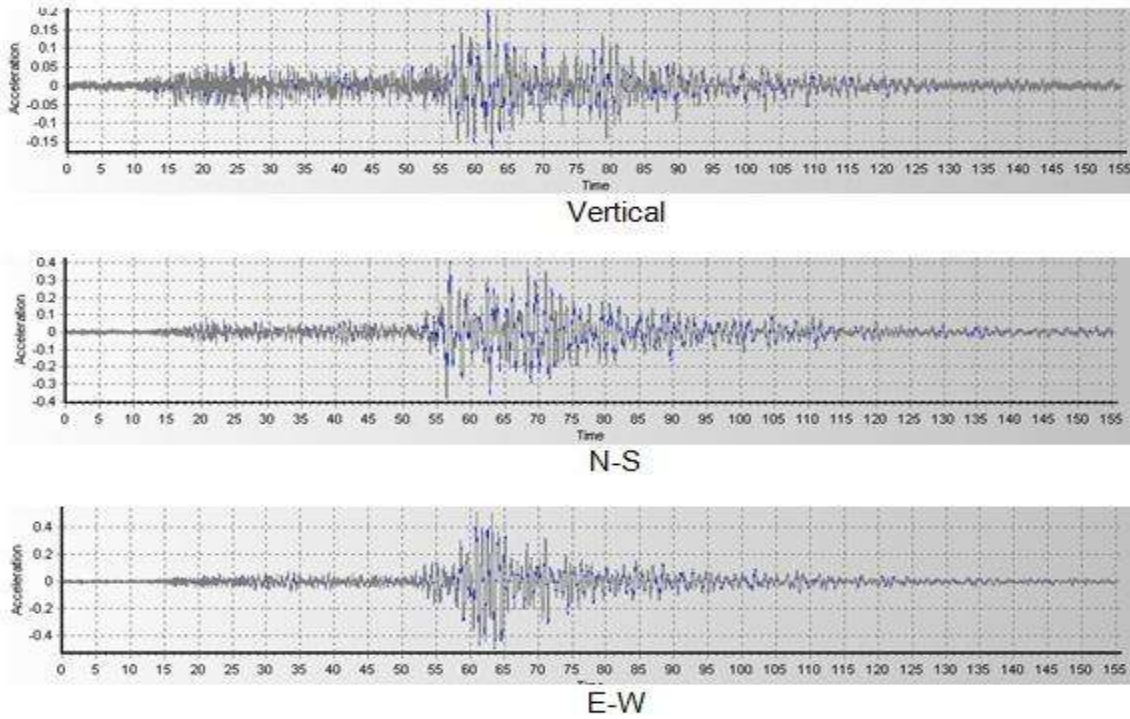


Figura 30. Acelerogramas registrados en la estación CU

- Estación INIRENA

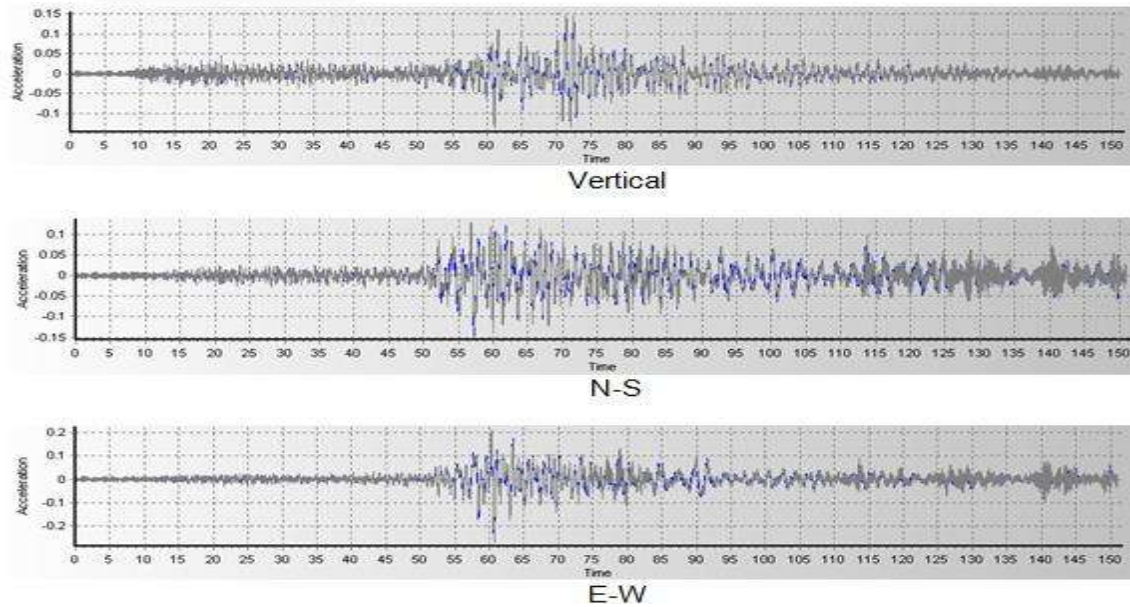


Figura 31. Acelerogramas registrados en la estación INIRENA.



- Estación Medicina

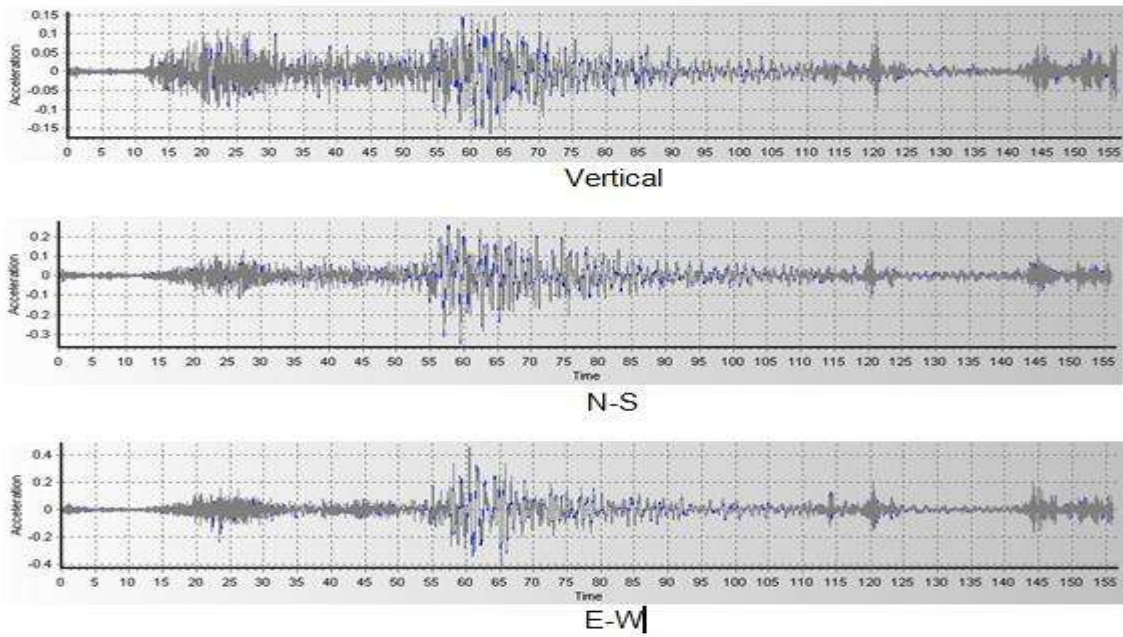


Figura 32. Acelerogramas registrados en la estación Medicina

- Estación Psicología

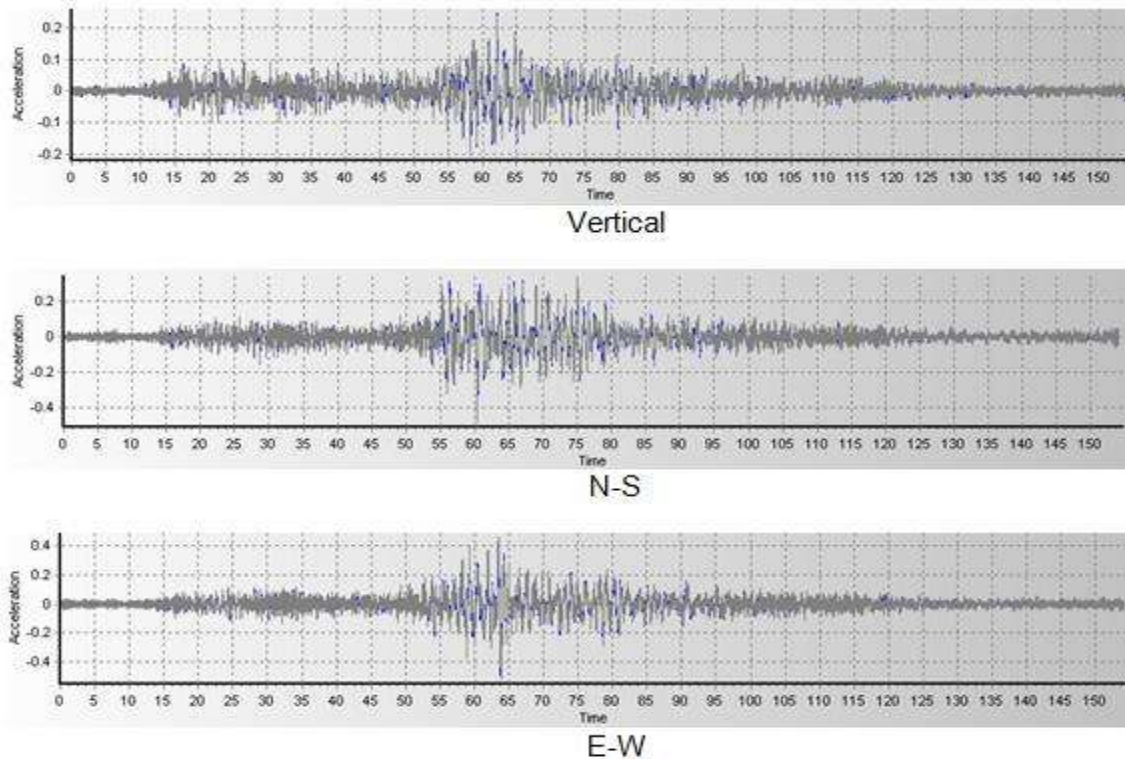


Figura 33. Acelerogramas registrados en la estación Psicología

- Estación SCT

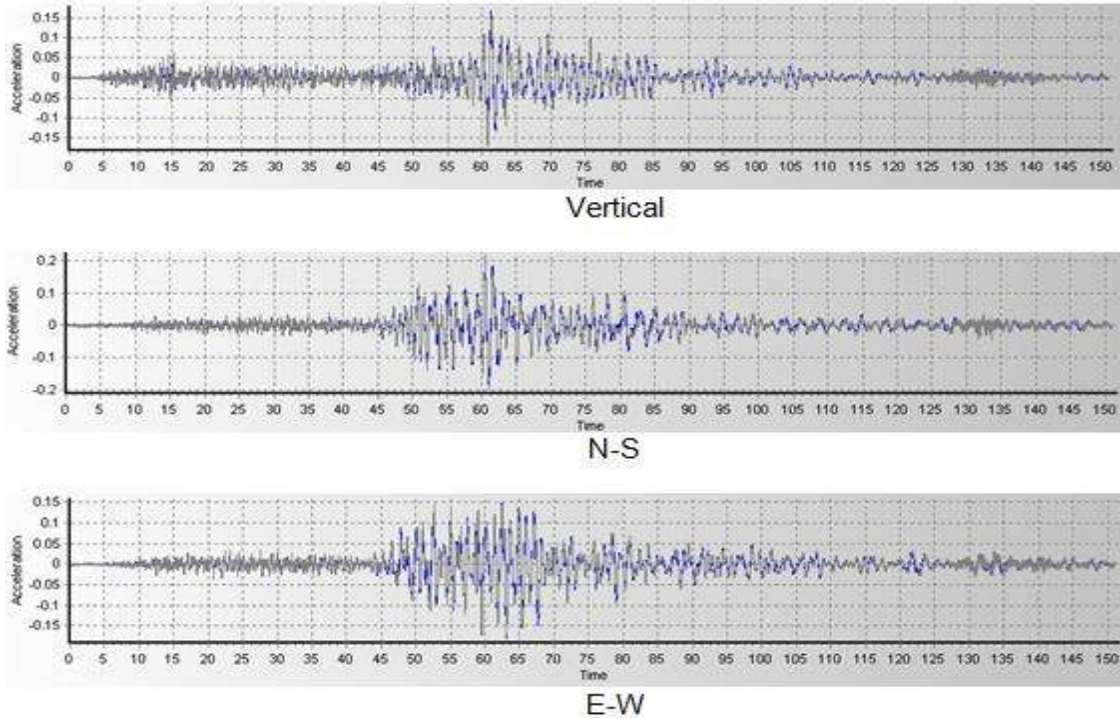


Figura 34. Acelerogramas registrados en la estación SCT

Acelerograma del temblor registrado el 23 de junio del 2020 en Crucecita Oaxaca

El epicentro de este sismo fue en Crucecita Oaxaca, tuvo una magnitud de 7.4 y tuvo una profundidad de 22.6 km. El evento fue generado en la falla de subducción (figura 35) y es, hasta ahora, el sismo más grande que ha ocurrido desde que se inauguró la Red. El epicentro está bastante retirado de las estaciones de la Red como se muestra en la tabla 6. La distancia entre el epicentro y las estaciones es mayor de 680 km por lo la intensidad en la ciudad de Morelia fue pequeña. Se registró en nueve estaciones y la única estación donde no se registró fue la estación CMIC.



Figura 35. Epicentro, Crucecita Oaxaca (Tomada desde www2.ssn.unam.mx 09/octubre/2021)

Tabla 6. Temblor el 23 de junio del 2020

FECHA: 23/06/2020				
ESPICENTRO	LAT	LONG	PROFUN (KM)	MAGNITUD
Crucecita Oaxaca	15.8033	-96.1337	22.6	7.4
ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA (KM)	
CU	19.6898611	-101.204167	689.8323505	
INIRENA	19.68987	-101.25023	693.6420065	
LUZ ALOU	19.6906667	-101.163194	686.5112141	
MEDICINA	19.6969556	-101.1795	688.286459	
PSICOLOGÍA	19.719114	-101.18705	690.4353597	
SAN NICOLAS	19.7037778	-101.194833	690.0186751	
SCT	19.7103056	-101.233167	693.6278998	
UVAQ	19.6752222	-101.179417	686.7855669	
VETERINARIA	19.6973889	-101.166722	687.2649492	

A continuación se muestran los acelerogramas (vertical, norte-sur, este-oeste) de cada estación corregida y sin corregir del evento Crucecita, Oaxaca. En el eje vertical presenta la aceleración en (m/seg²) y en el eje horizontal se muestra el tiempo en (segundos).



- Estación CU

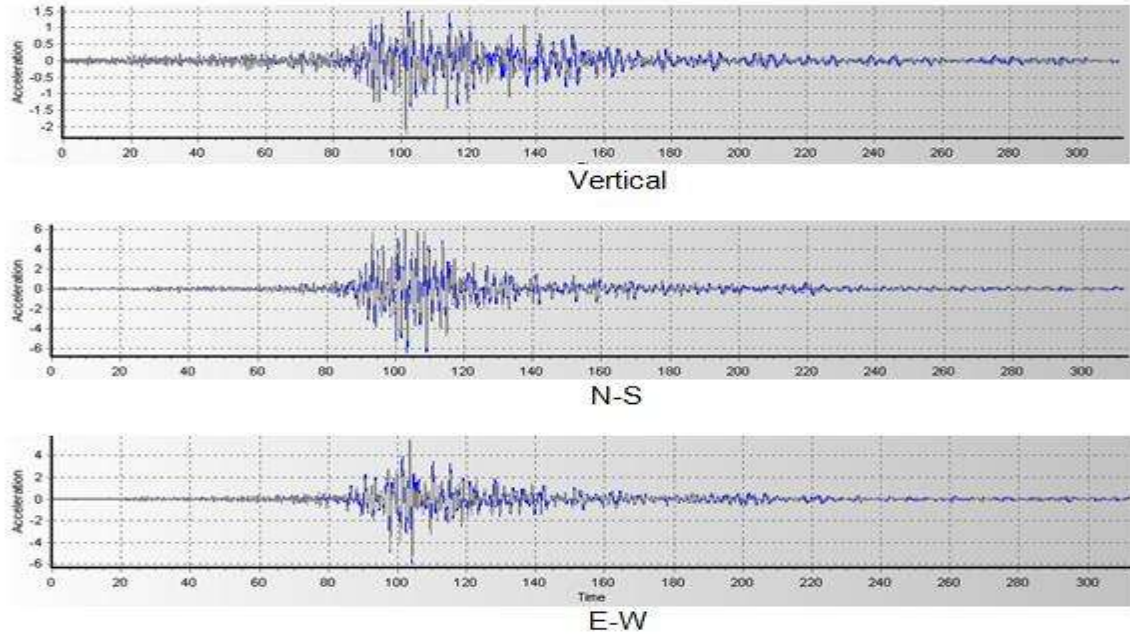


Figura 36. Acelerogramas registrados en la estación CU

- Estación INIRENA

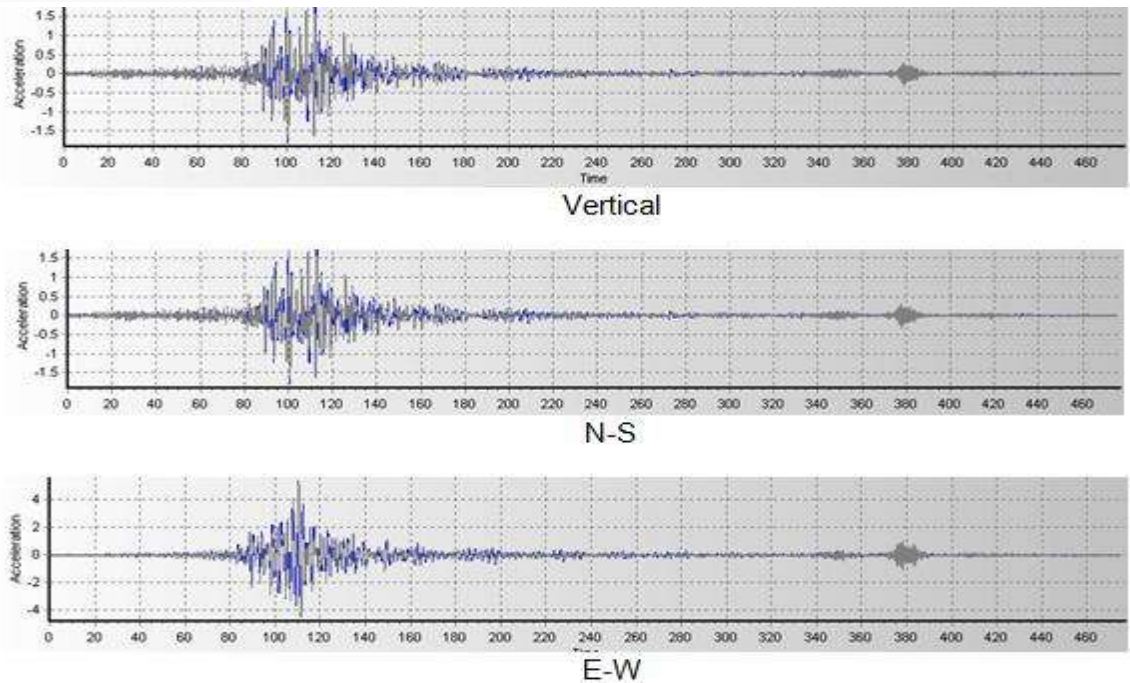


Figura 37. Acelerogramas registrados en la estación INIRENA



- ESTACIÓN LUZ ALOU

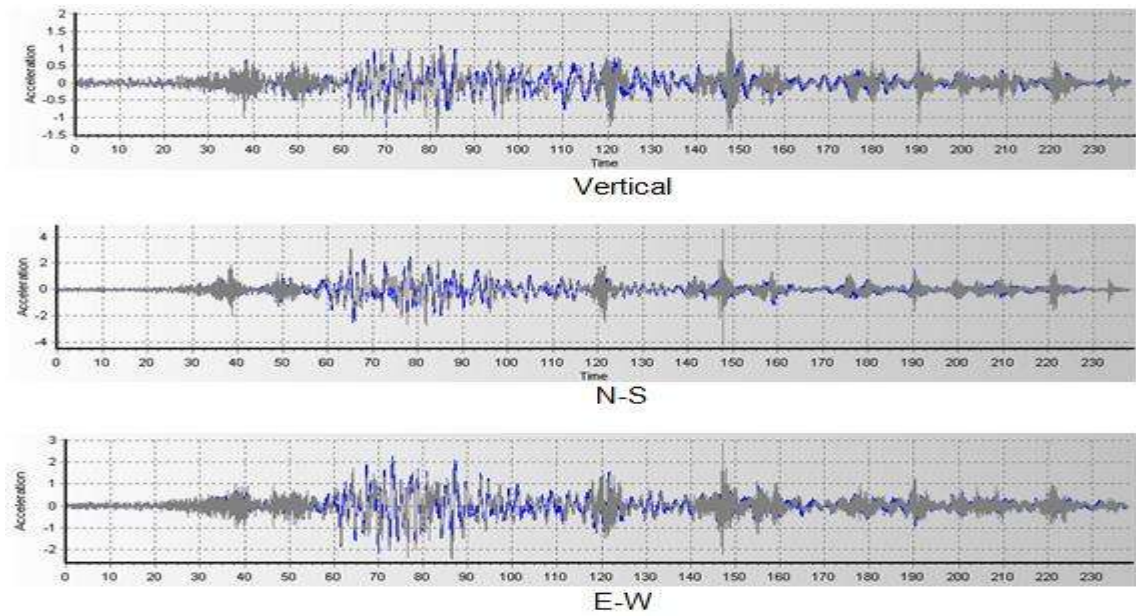


Figura 38. Acelerogramas registrados en la estación Luz Alou

- ESTACIÓN MEDICINA

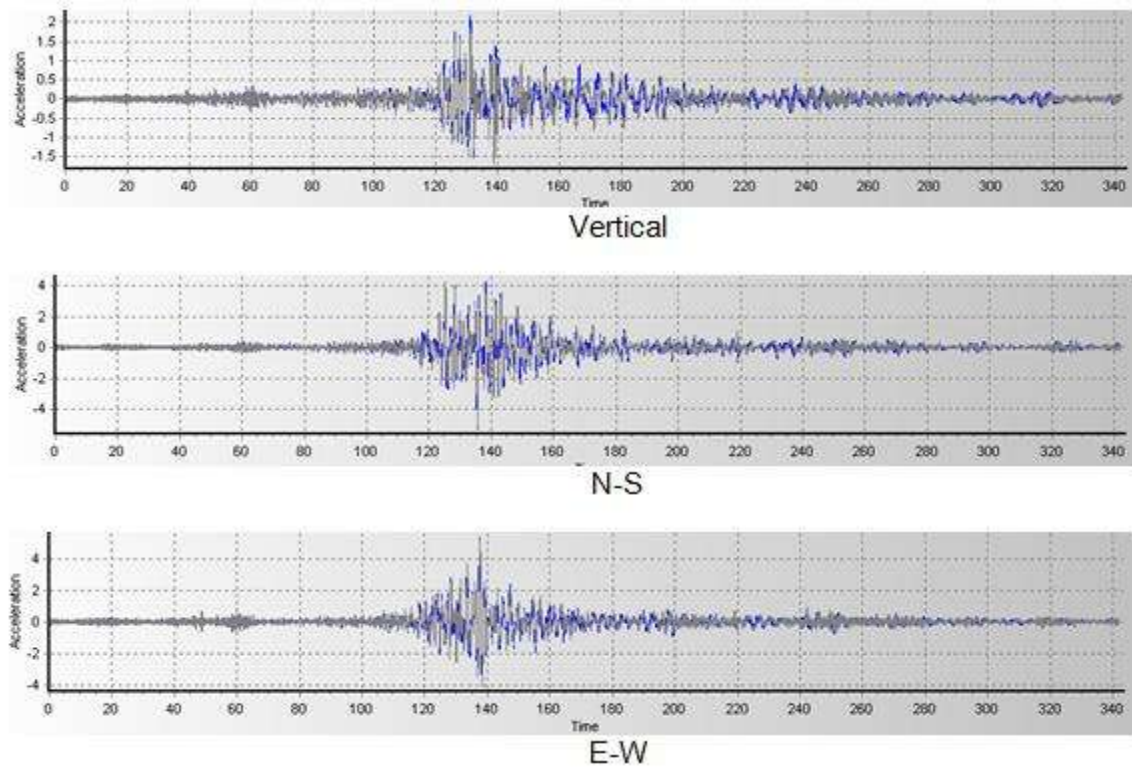


Figura 39. Acelerogramas registrados en la estación MEDICINA



- ESTACIÓN PSICOLOGÍA

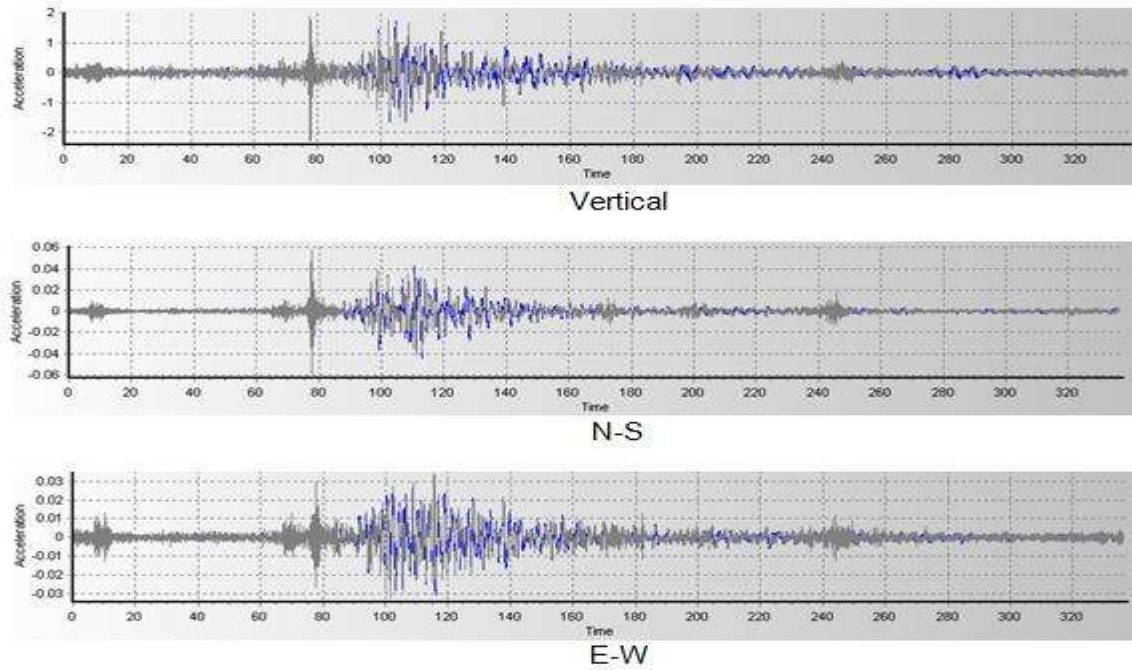


Figura 40. Acelerogramas registrados en la estación PSICOLOGÍA

- ESTACIÓN SAN NICOLÁS

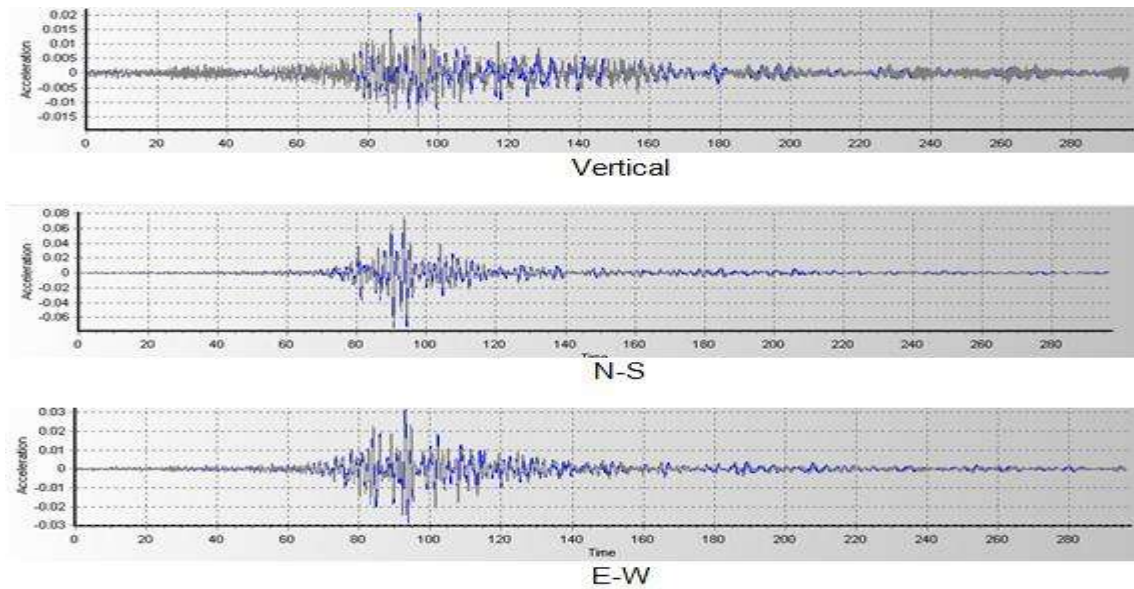


Figura 41. Acelerogramas registrados en la estación SAN NICOLÁS



- ESTACIÓN SCT

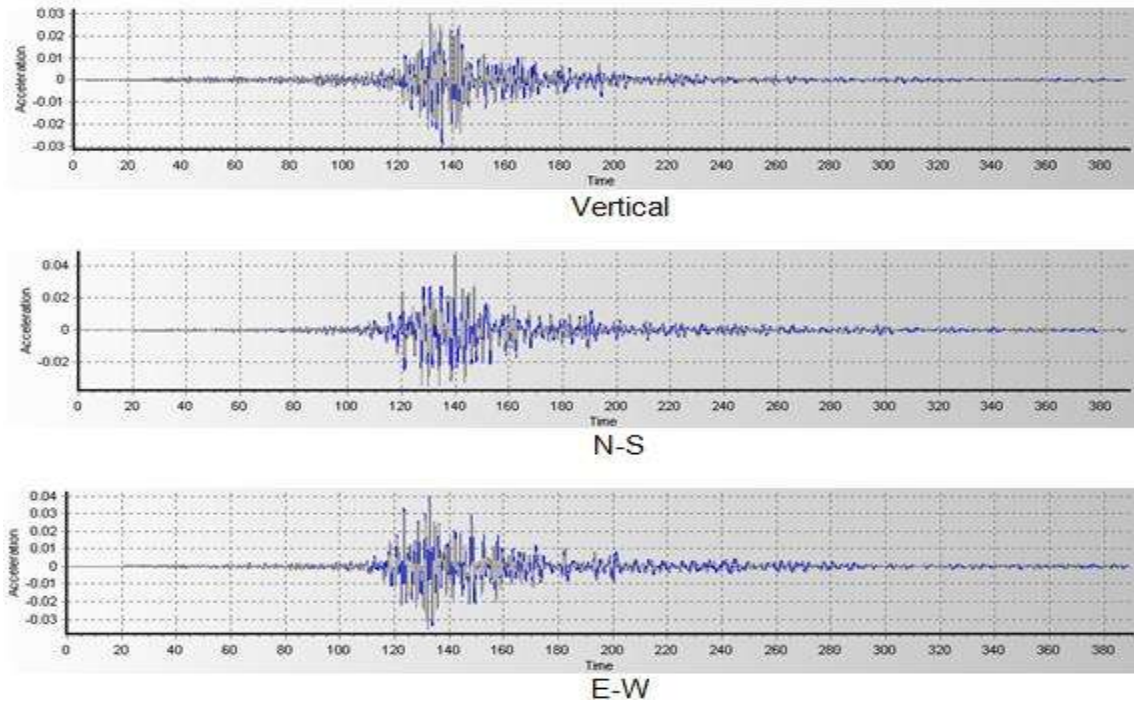


Figura 42. Acelerogramas registrados en la estación SCT

- ESTACIÓN UVAQ

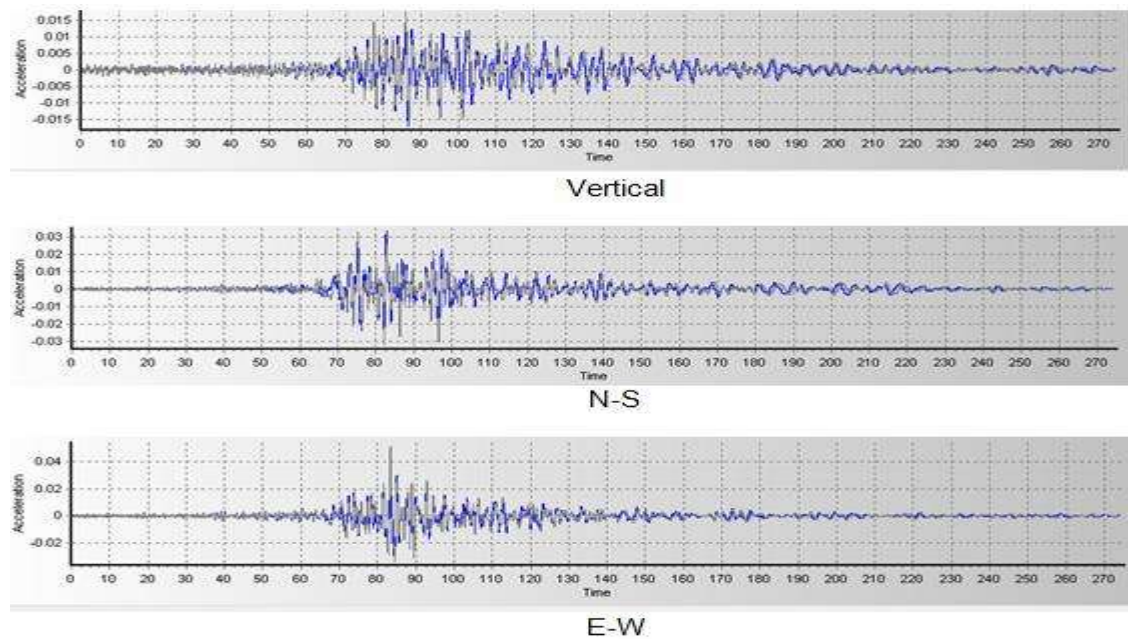


Figura 43. Acelerogramas registrados en la estación UVAQ



- ESTACIÓN VETERINARIA

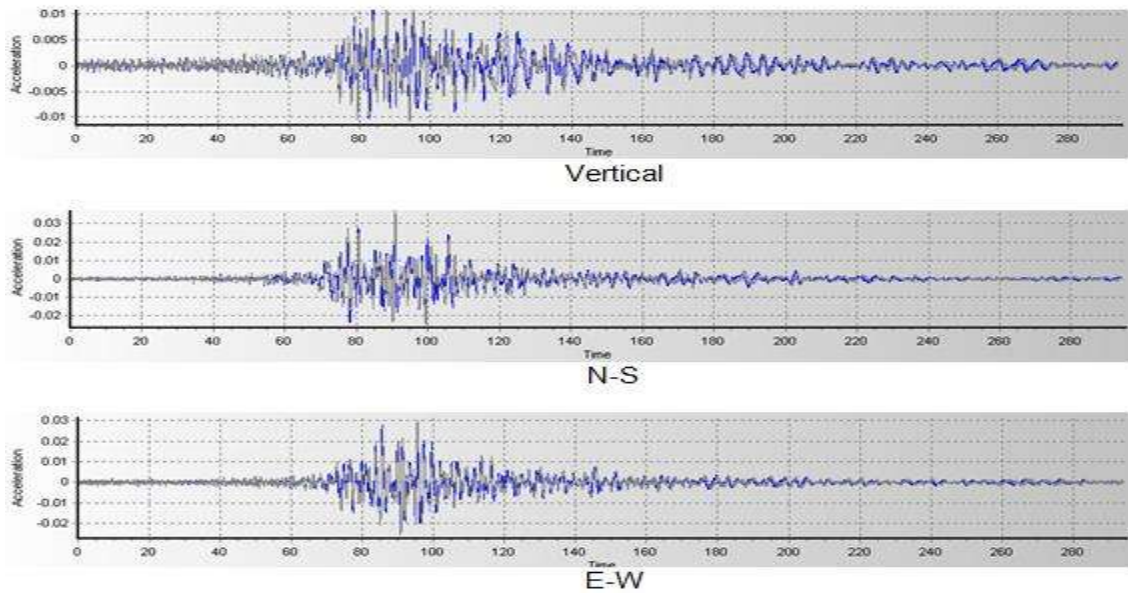


Figura 44. Acelerogramas registrados en la estación VETERINARIA

Acelerograma del temblor registrado el 07 de septiembre del 2021 en Acapulco Guerrero

El sismo del 7 de septiembre es el último evento registrado hasta la fecha en la Red Sísmica. El epicentro fue en Acapulco, Guerrero con una magnitud de $M=7.1$ (figura 45). Al igual que el sismo del 23 de junio del 2020 en Crucecita Oaxaca, es de los temblores más fuertes registrados por la Red Sísmica, pero el epicentro fue más cercano a Morelia, por lo que se percibió más en la ciudad. La distancia entre el epicentro y de las estaciones esta entre 348 y 355 km de distancia (tabla 7).



Figura 45. Epicentro, Acapulco Guerrero (Tomada desde www2.ssn.unam.mx 09/octubre/2021)



Tabla 7. Temblor del 7 de septiembre del 2021

FECHA: 07/SEP/2021				
ESPICENTRO	LAT	LONG	PROFUN (KM)	MAGNITUD
Acapulco Gro	16.78	-99.93	10	7.1
ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA (KM)	
CMIC	19.6852778	-101.234972	351.5530386	
CU	19.6898611	-101.204167	350.7585688	
INIRENA	19.68987	-101.25023	352.6575171	
LUZ ALOU	19.6906667	-101.163194	349.201753	
MEDICINA	19.6969556	-101.1795	350.4960535	
PSICOLOGÍA	19.719114	-101.18705	353.077992	
SAN NICOLAS	19.7037778	-101.194833	351.8111352	
SCT	19.7103056	-101.233167	354.0387142	
UVAQ	19.6752222	-101.179417	348.256469	
VETERINARIA	19.6973889	-101.166722	350.0340852	

Se muestran a continuación los registros sísmicos de aceleración del evento con epicentro en Acapulco Guerrero, en las tres componentes ortogonales (vertical, norte-sur, este-oeste) de cada estación corregida y sin corregir. En el eje vertical presenta la aceleración en (m/seg²) y en el eje horizontal se muestra el tiempo en (segundos).

- ESTACIÓN CMIC

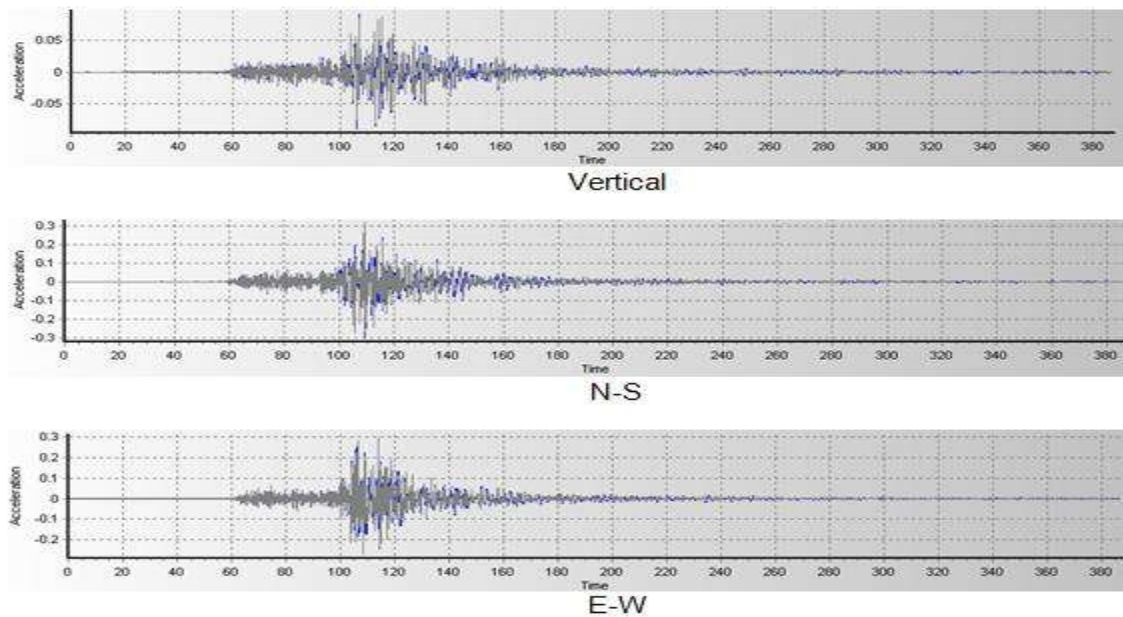


Figura 46. Acelerogramas registrados en la estación CMIC



- ESTACIÓN CU

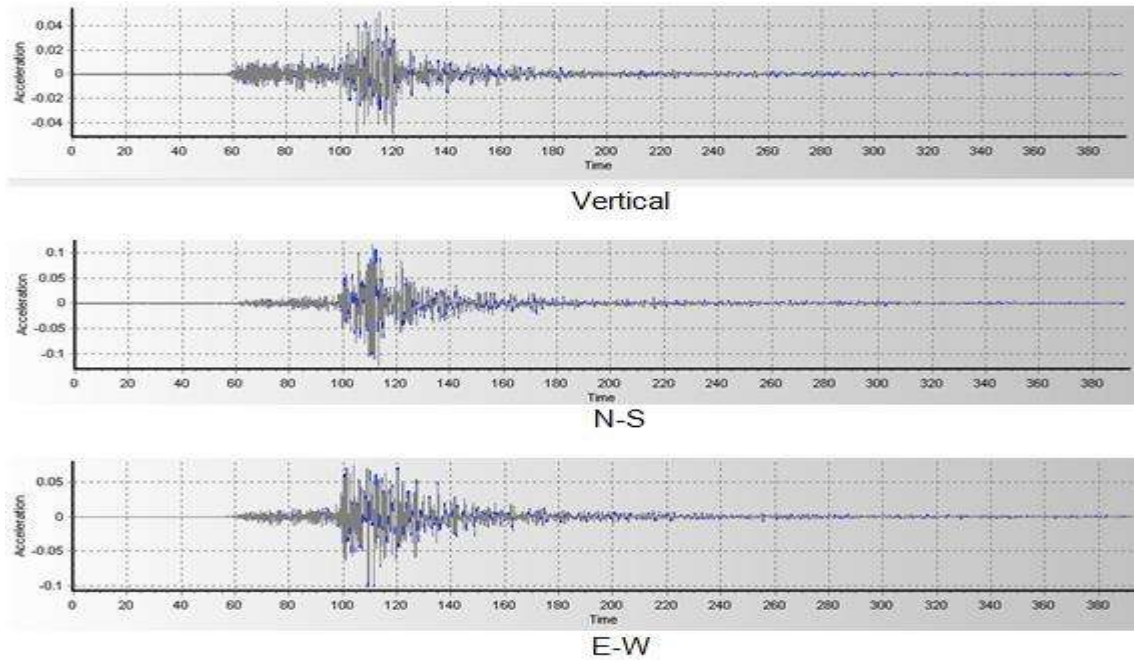


Figura 47. Acelerogramas registrados en la estación CU

- ESTACIÓN INIRENA

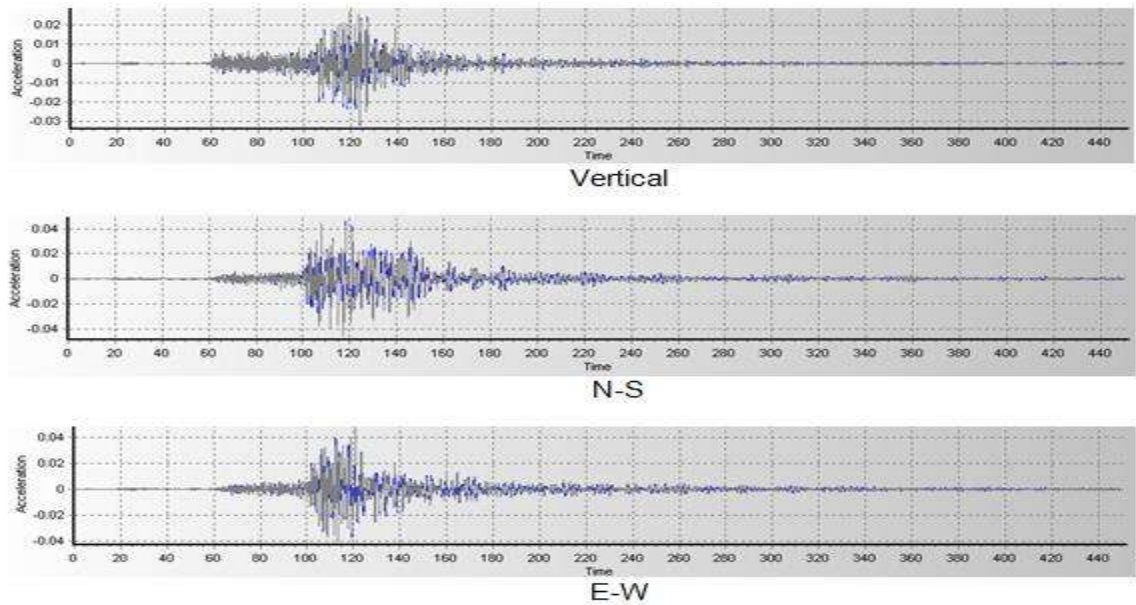


Figura 48. Acelerogramas registrados en la estación INIRENA



- ESTACIÓN LUZ ALOU

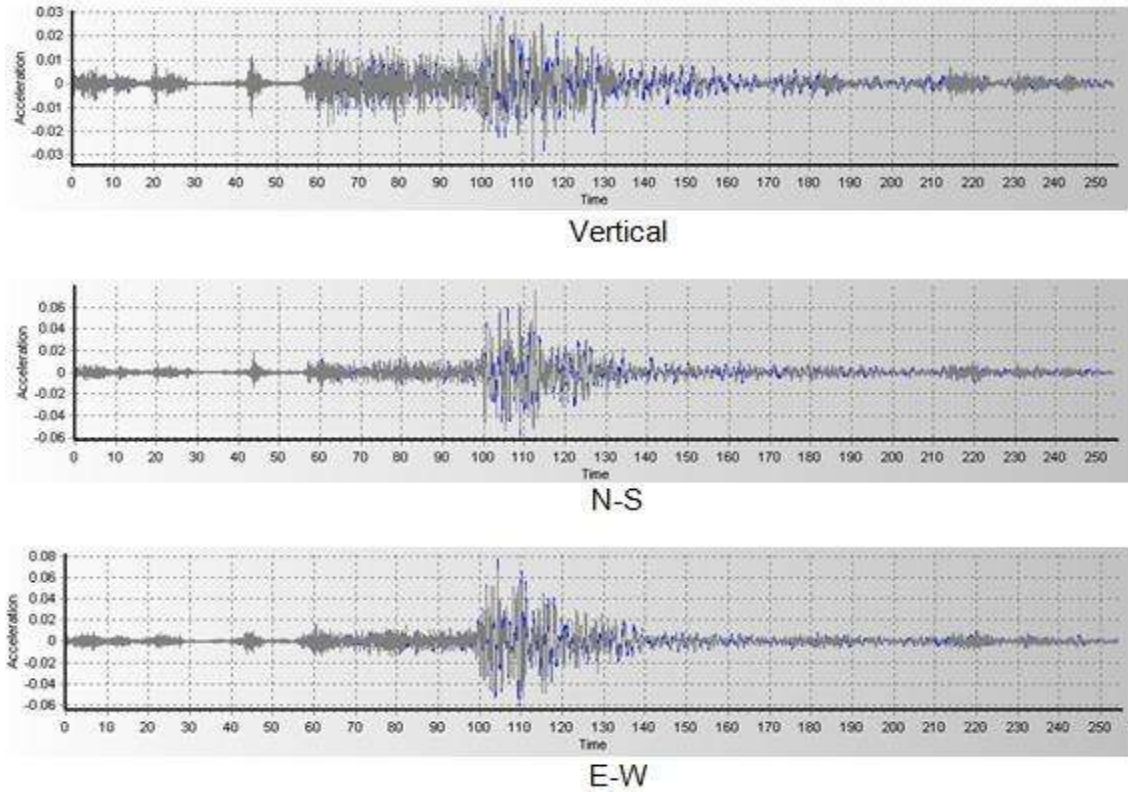


Figura 49. Acelerogramas registrados en la estación LUZ ALOU

- ESTACIÓN MEDICINA

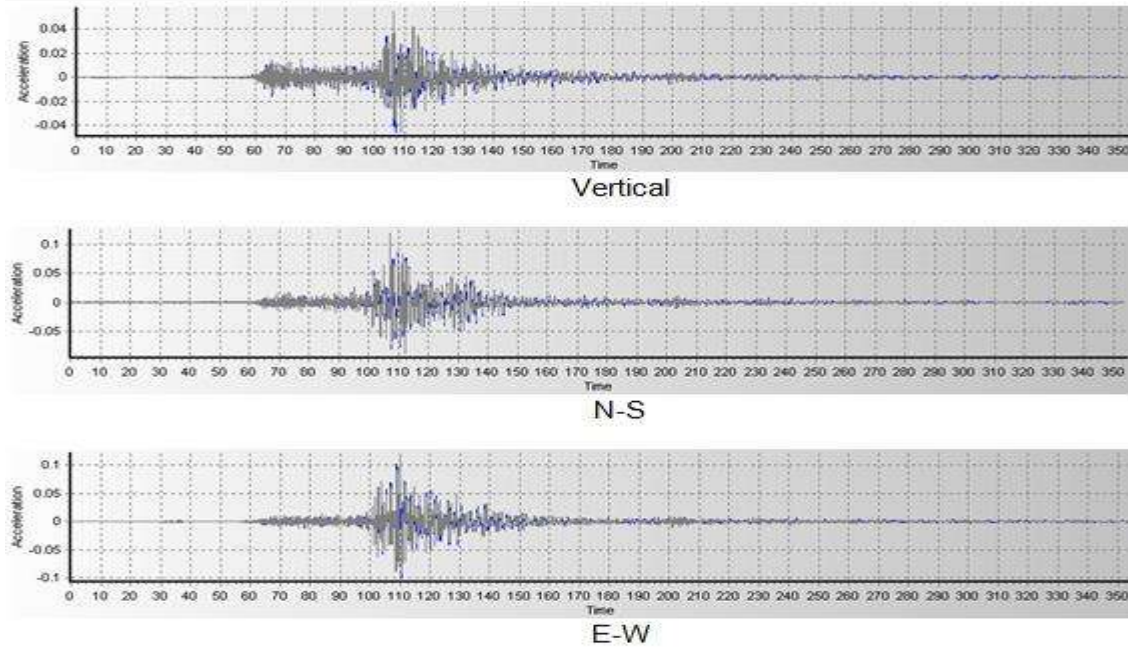


Figura 50. Acelerogramas registrados en la estación MEDICINA



- ESTACIÓN PSICOLOGÍA

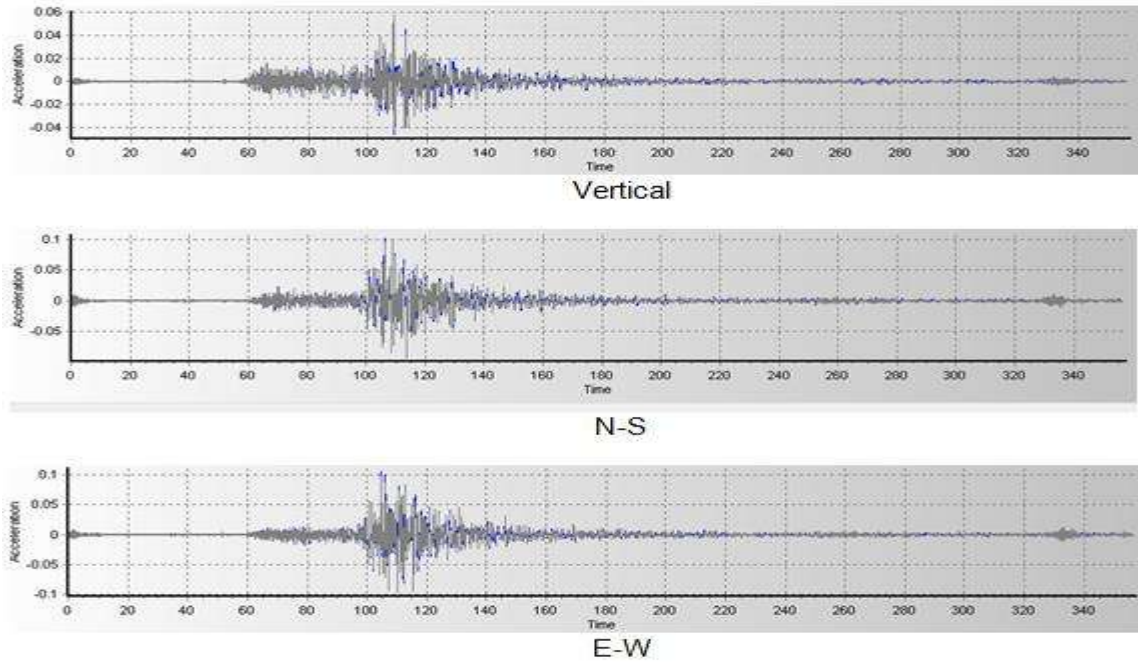


Figura 51. Acelerogramas registrados en la estación PSICOLOGÍA

- ESTACIÓN SAN NICOLÁS

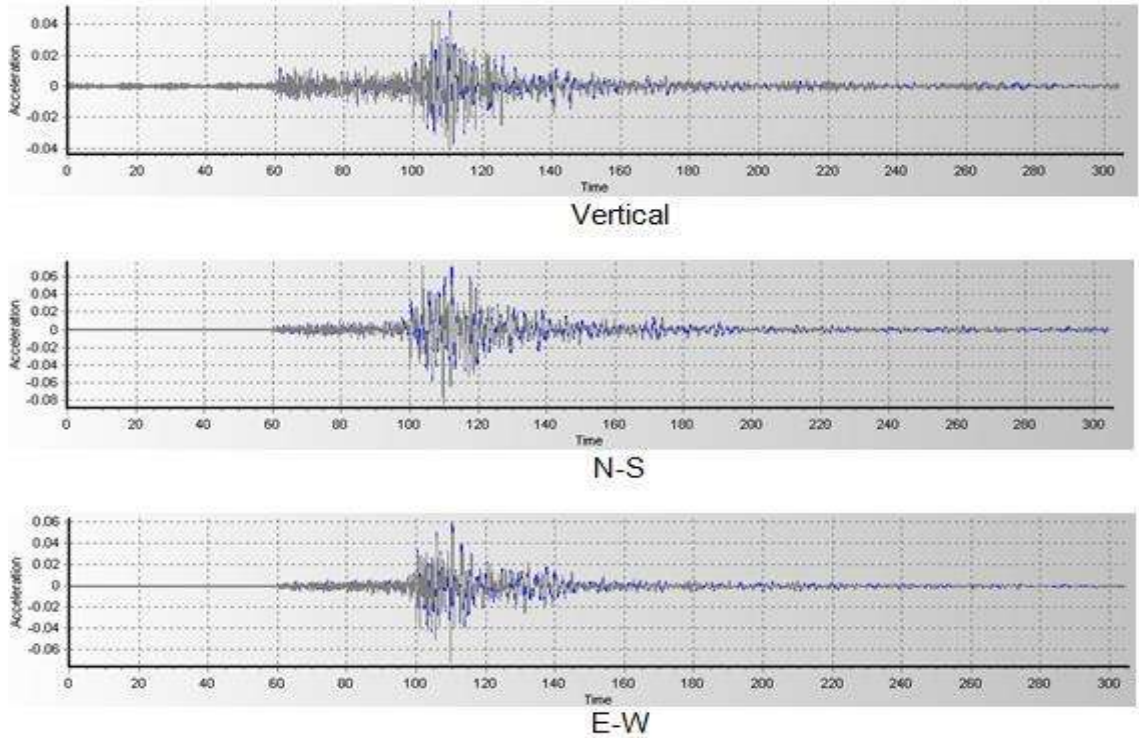


Figura 52. Acelerogramas registrados en la estación SAN NICOLÁS



- ESTACIÓN SCT

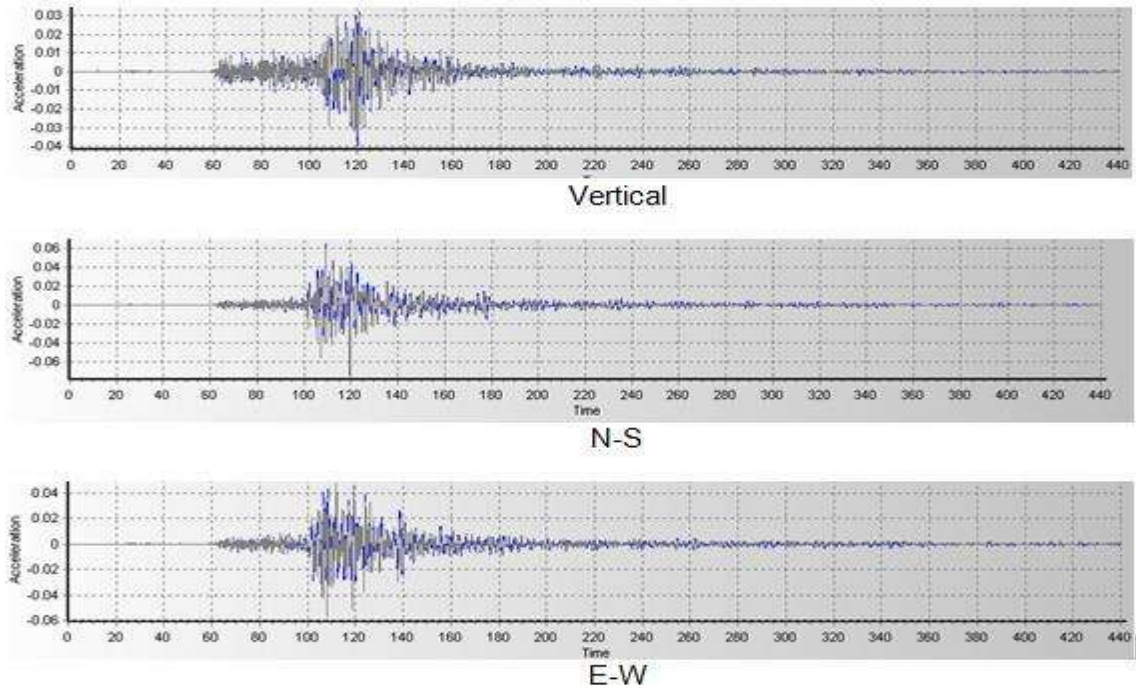


Figura 53. Acelerogramas registrados en la estación SCT

- ESTACIÓN UVAQ

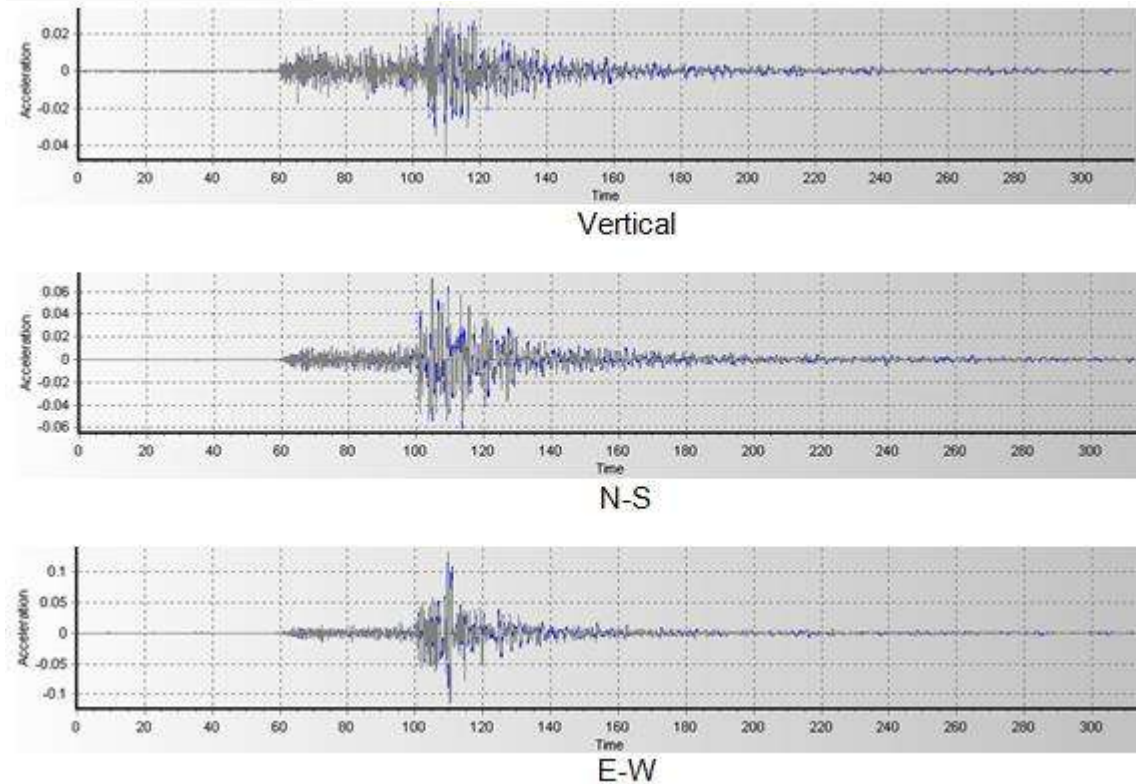


Figura 53. Acelerogramas registrados en la estación SCT



- ESTACIÓN VETERINARIA

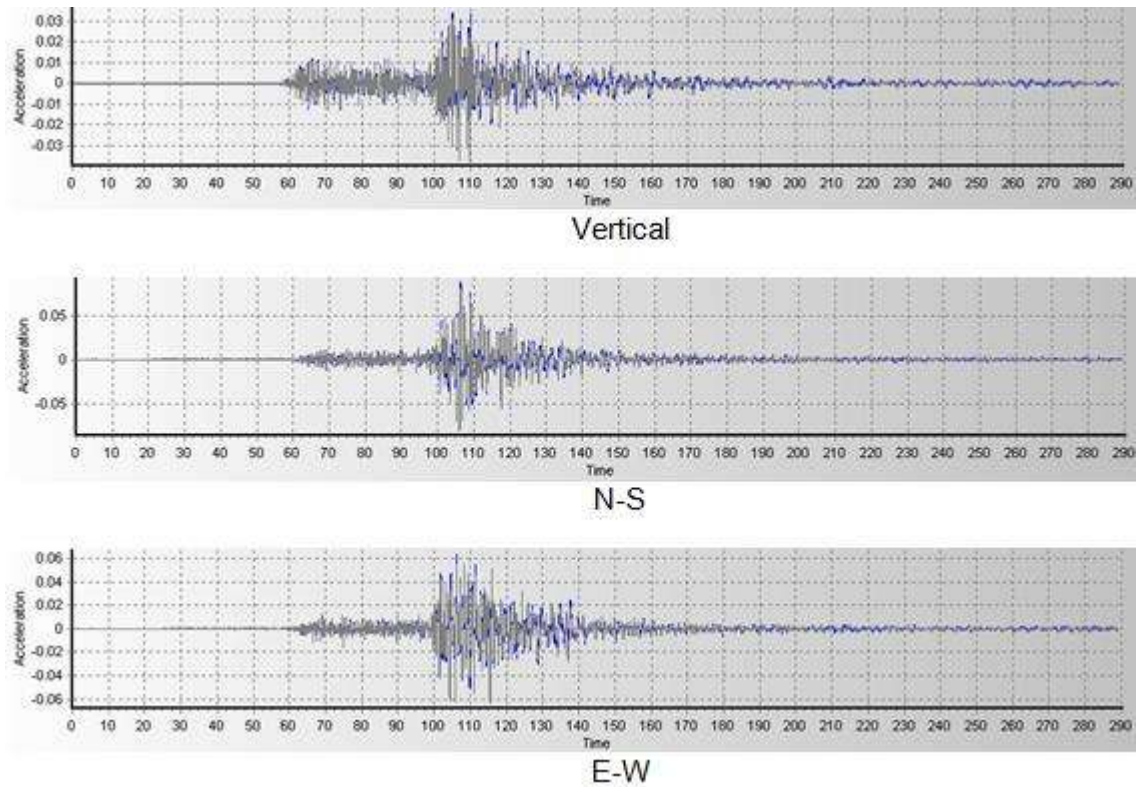


Figura 53. Acelerogramas registrados en la estación Veterinaria

Las siguientes tablas muestran las distancias geográficas y las características de los temblores registrados en la Red Sísmica Nicolaita.

Tabla 8. Temblor del 12 de febrero del 2020

FECHA: 12/feb/2020				
ESPICENTRO	LAT	LONG	PROFUN (KM)	MAGNITUD
Guacamayas, Mich	18.3393	-101.836	67.2	4.7
ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA (KM)	
CMIC	19.6852778	-101.234972	162.613	
CU	19.6898611	-101.204167	164.367	
INIRENA	19.68987	-101.25023	162.467	
MEDICINA	19.6969556	-101.1795	166.151	
PSICOLOGÍA	19.719114	-101.18705	168.071	
SAN NICOLAS	19.7037778	-101.194833	166.180	
SCT	19.7103056	-101.233167	165.254	
UVAQ	19.6752222	-101.179417	163.960	
VETERINARIA	19.6973889	-101.166722	166.758	



Tabla 9. Temblor del 21 de enero del 2020

FECHA: 21/enero/2020				
ESPICENTRO	LAT	LONG	PROFUN (KM)	MAGNITUD
Morelia, Mich	19.8623	-101.073	3.4	4.1
ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA (KM)	
CMIC	19.6852778	-101.234972	26.000	
CU	19.6898611	-101.204167	23.603	
LUZ ALOU	19.6906667	-101.163194	21.311	
MEDICINA	19.6969556	-101.1795	21.520	
PSICOLOGÍA	19.719114	-101.18705	19.916	
SAN NICOLAS	19.7037778	-101.194833	21.774	
UVAQ	19.6752222	-101.179417	23.618	
VETERINARIA	19.6973889	-101.166722	20.815	

Tabla 10. Temblor del 6 de abril del 2020

FECHA: 06/abril/2020				
ESPICENTRO	LAT	LONG	PROFUN (KM)	MAGNITUD
Petatlan Gro.	17.259	-101.34	5.6	5
ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA (KM)	
CU	19.6898611	-101.204167	270.939	
INIRENA	19.68987	-101.25023	270.727	
LUZ ALOU	19.6906667	-101.163194	271.292	
MEDICINA	19.6969556	-101.1795	271.878	
PSICOLOGÍA	19.719114	-101.18705	274.291	
SCT	19.7103056	-101.233167	273.068	
UVAQ	19.6752222	-101.179417	269.464	
VETERINARIA	19.6973889	-101.166722	272.013	

Tabla 11. Temblor del 22 de abril del 2019

FECHA: 22/abri/2019				
ESPICENTRO	LAT	LONG	PROFUN (KM)	MAGNITUD
Pinotepa Na. Oax.	15.958	-98.6733	15.8	5.5
ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA (KM)	
CU	19.6898611	-101.204167	494.376	
INIRENA	19.68987	-101.25023	497.040	
LUZ ALOU	19.6906667	-101.163194	492.111	
MEDICINA	19.6969556	-101.1795	493.626	



Tabla 12. Temblor del 19 de marzo del 2021

FECHA: 19/marzo/2021				
ESPICENTRO	LAT	LONG	PROFUN (KM)	MAGNITUD
San Marcos, Gro.	16.4755	-98.9322	10.7	5.7
ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA (KM)	
CU	19.6898611	-101.204167	430.999	
INIRENA	19.68987	-101.25023	433.736	
LUZ ALOU	19.6906667	-101.163194	428.671	
MEDICINA	19.6969556	-101.1795	430.204	
PSICOLOGÍA	19.719114	-101.18705	432.693	
SAN NICOLAS	19.7037778	-101.194833	431.732	
SCT	19.7103056	-101.233167	434.592	
UVAQ	19.6752222	-101.179417	428.194	
VETERINARIA	19.6973889	-101.166722	429.499	

Tabla 13. Temblor del 1 de febrero del 2019

FECHA: 01/feb/2019				
ESPICENTRO	LAT	LONG	PROFUN (KM)	MAGNITUD
Cd. Hidalgo, Chis	14.5818	-92.4807	76.2	6.5
ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA (KM)	
CMIC	19.6852778	-101.234972	1090.306	
CU	19.6898611	-101.204167	1087.769	
INIRENA	19.68987	-101.25023	1091.946	
MEDICINA	19.6969556	-101.1795	1085.932	

Tabla 14. Temblor del 3 de marzo del 2019

FECHA: 03/mar/2019				
ESPICENTRO	LAT	LONG	PROFUN (KM)	MAGNITUD
Huetamo, Mich	18.3467	-101.441	71.4	5.1
ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA (KM)	
CMIC	19.6852778	-101.234972	150.555	
CU	19.6898611	-101.204167	151.559	
INIRENA	19.68987	-101.25023	150.839	
MEDICINA	19.6969556	-101.1795	152.784	
PSICOLOGÍA	19.719114	-101.18705	155.072	
SAN NICOLAS	19.7037778	-101.194833	153.250	
SCT	19.7103056	-101.233167	153.339	
UVAQ	19.6752222	-101.179417	150.407	
VETERINARIA	19.6973889	-101.166722	153.079	



Tabla 15. Temblor del 16 de junio del 2019

FECHA: 16/jun/2019				
ESPICENTRO	LAT	LONG	PROFUN (KM)	MAGNITUD
Nueva Italia, Mich	18.5245	-101.753	65	5
ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA (KM)	
CMIC	19.6852778	-101.234972	140.2139915	
CU	19.6898611	-101.204167	141.9698983	
INIRENA	19.68987	-101.25023	140.0712241	
LUZ ALOU	19.6906667	-101.163194	143.856487	
MEDICINA	19.6969556	-101.1795	143.7600486	
PSICOLOGÍA	19.719114	-101.18705	145.6746024	
SAN NICOLAS	19.7037778	-101.194833	143.783351	
SCT	19.7103056	-101.233167	142.8558125	
UVAQ	19.6752222	-101.179417	141.5733407	
VETERINARIA	19.6973889	-101.166722	144.3725404	

Tabla 16. Temblor del 16 de febrero del 2018

FECHA: 16/feb/2018				
ESPICENTRO	LAT	LONG	PROFUN (KM)	MAGNITUD
Pinotepa Na. Oax.	16.218	-98.0135	16	7.2
ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA (KM)	
CU	19.6898611	-101.204167	513.2326797	
LUZ ALOU	19.6906667	-101.163194	510.45615	
MEDICINA	19.6969556	-101.1795	512.1102417	
UVAQ	19.6752222	-101.179417	510.2919856	

Tabla 17. Temblor del 19 de febrero del 2018

FECHA: 19/feb/2018				
ESPICENTRO	LAT	LONG	PROFUN (KM)	MAGNITUD
Pinotepa Na. Oax.	16.2477	-97.775	10.2	6
ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA (KM)	
CU	19.6898611	-101.204167	527.7640548	
MEDICINA	19.6969556	-101.1795	526.5420462	
UVAQ	19.6752222	-101.179417	524.7907597	



Espectros de respuesta

En ingeniería estructural, es importante entender el comportamiento del suelo cuando ocurren temblores ya que la energía del movimiento se transfiere a las estructuras. Un espectro de respuesta es una gráfica que relaciona el periodo de vibrar de un sistema de un grado de libertad con su respuesta máxima de desplazamiento, velocidad o aceleración. En esta sección, se determinan los espectros de respuesta de los registros obtenidos en distintos sitios de Morelia.

Espectros de respuesta del temblor 21 de marzo del 2019

La figura 54 presenta los espectros de pseudoaceleración en las direcciones vertical, N-S y E-W del temblor 21 de marzo del 2019 con epicentro en Cd. Altamirano, Guerrero. El eje vertical muestra las pseudoaceleración en m/s^2 y el eje horizontal presenta el periodo en segundos.

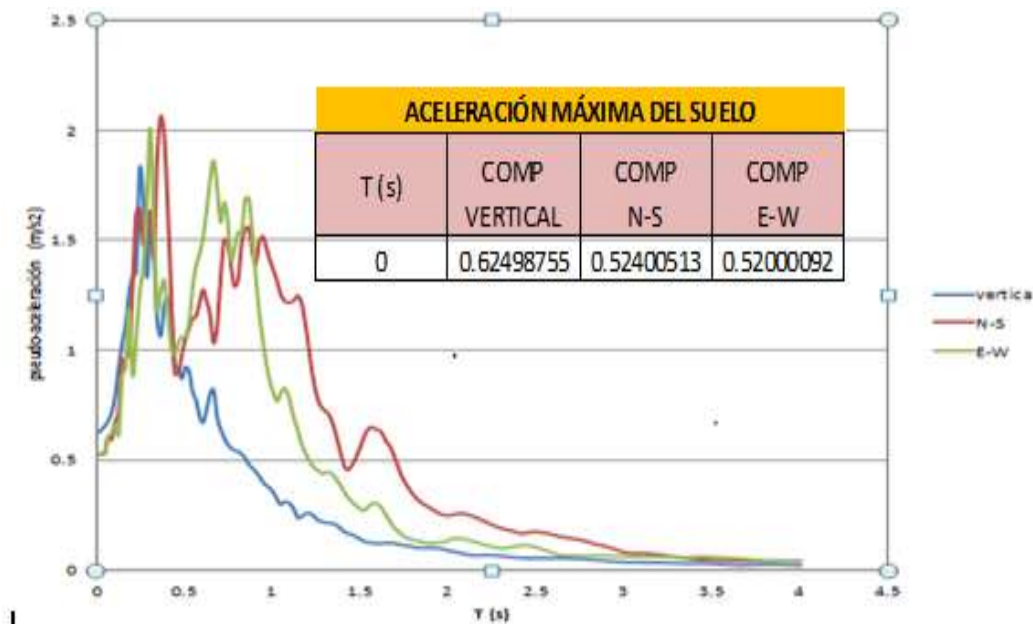


Figura 54. Espectros de respuesta (5% de amortiguamiento) en las tres componentes ortogonales en estación CU del temblor 21 de marzo del 2019

Posteriormente, se resumen todos los espectros de pseudo-aceleración del mismo sismo obtenidos en todas las redes sísmicas. La figura 55 ilustra los espectros de las componentes verticales de cada estación, la figura 56 los espectros de las componentes Norte-Sur y la figura 57 los espectros de la componente Este-Oeste. El eje vertical muestra las pseudoaceleración en m/s^2 y el eje horizontal presenta el periodo en segundos.



- Espectros de respuesta del temblor 21 de marzo del 2019

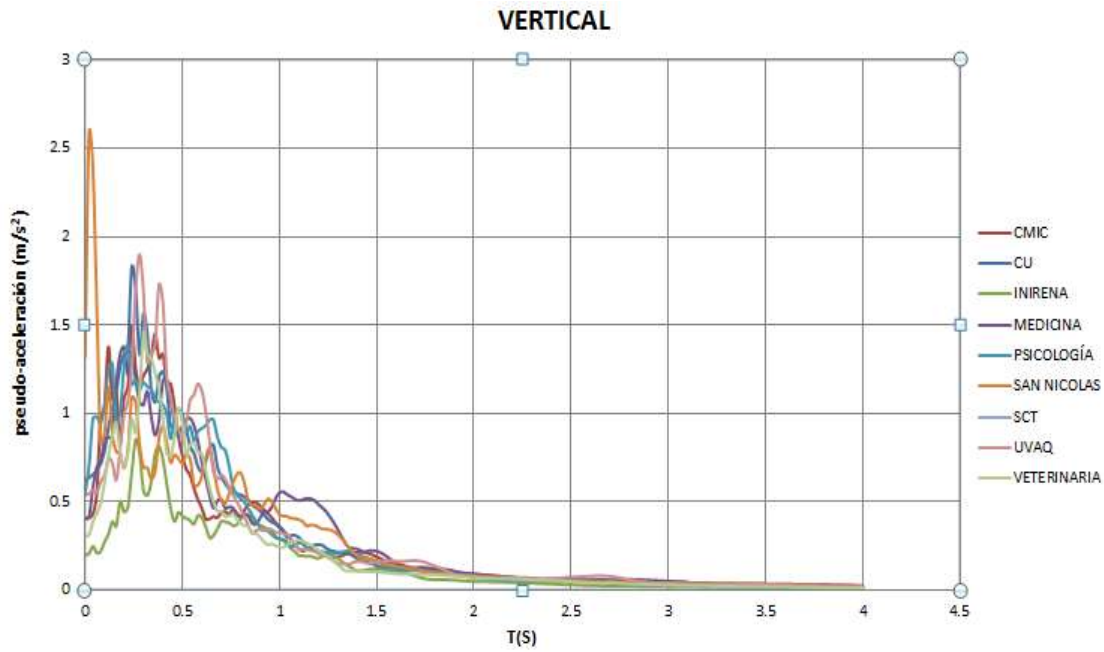


Figura 55. Espectros de respuesta en la direcciones vertical

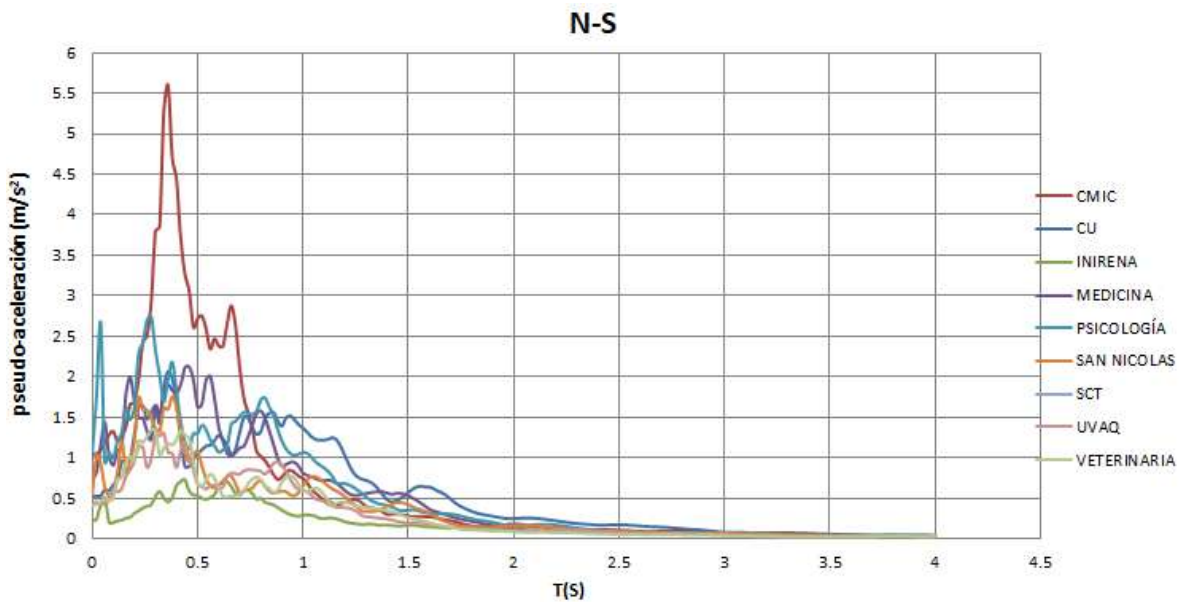


Figura 56. Espectros de respuesta en componente N-S.

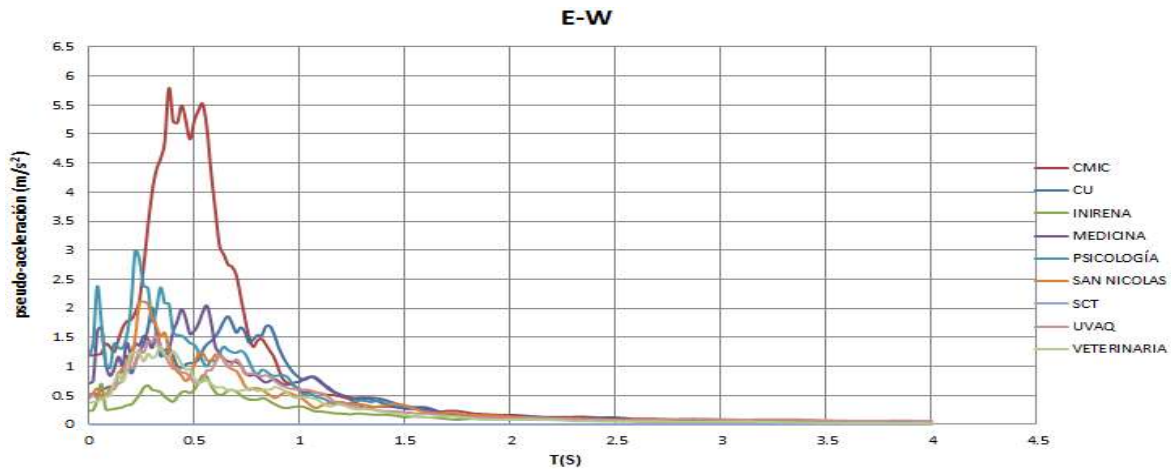


Figura 56. Espectros de respuesta en componente E-W.

Es importante observar que las máximas amplitudes espectrales difieren apreciablemente entre cada una de las estaciones, particularmente en las componentes horizontales del movimiento sísmico.

Espectro de respuesta del temblor 30 de enero del 2020

Se muestran a continuación los espectros de pseudo-aceleración de todas las estaciones del sismo de Coyuca de Benítez Gro. Nuevamente se presentan los espectros de las tres componentes, vertical, N-S y E-W. El eje vertical muestra las pseudoaceleración en m/s^2 y el eje horizontal presenta el periodo en segundos.

- Espectros de respuesta del temblor 30 de enero del 2020 Coyuca de Benítez Gro.

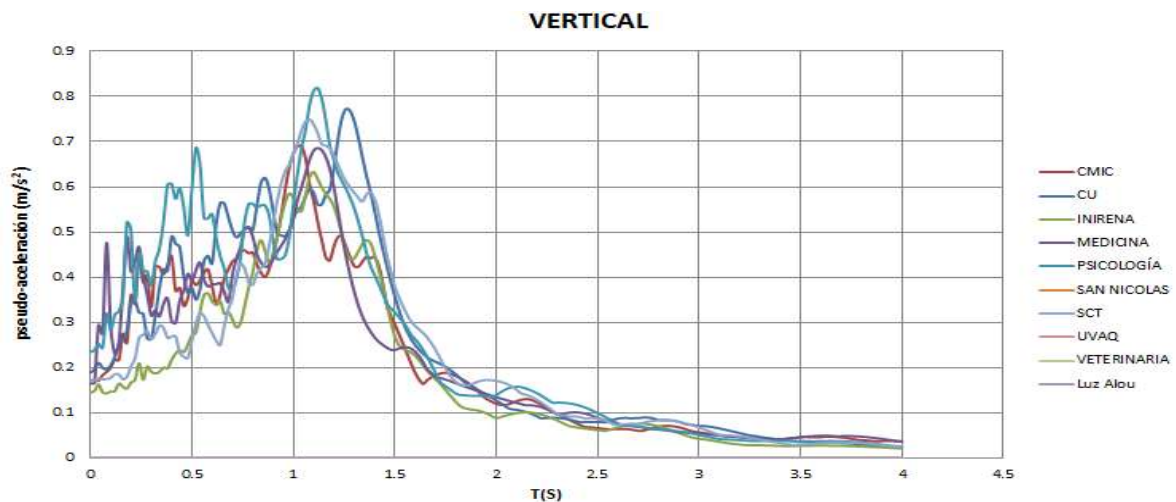




Figura 57. Espectros de respuesta en componente Vertical.

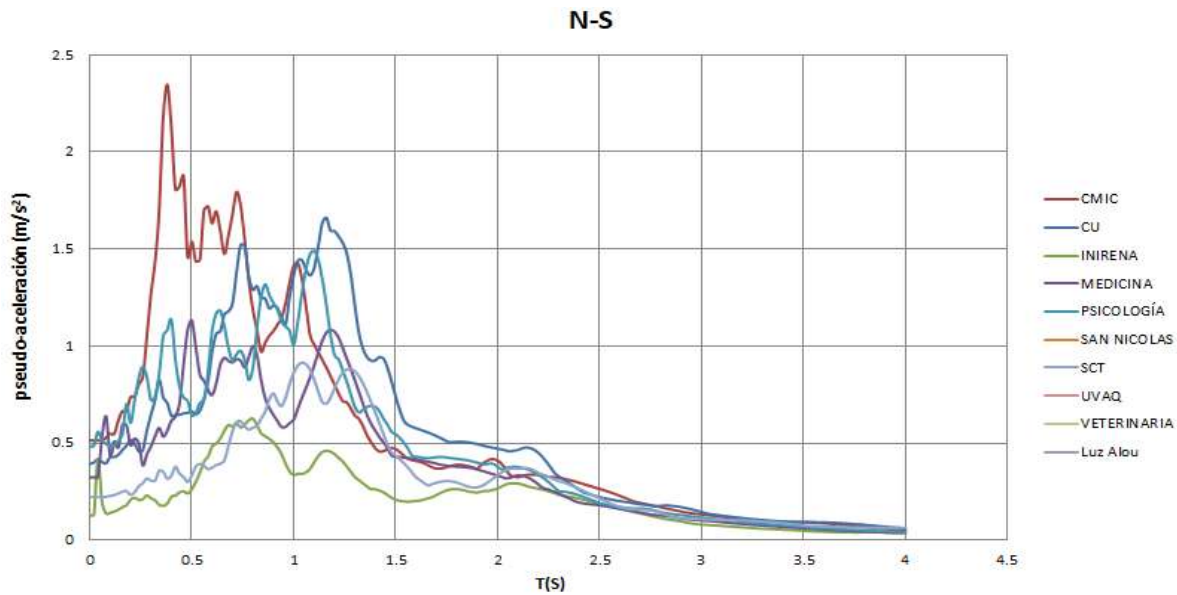


Figura 58. Espectros de respuesta en componente N-S

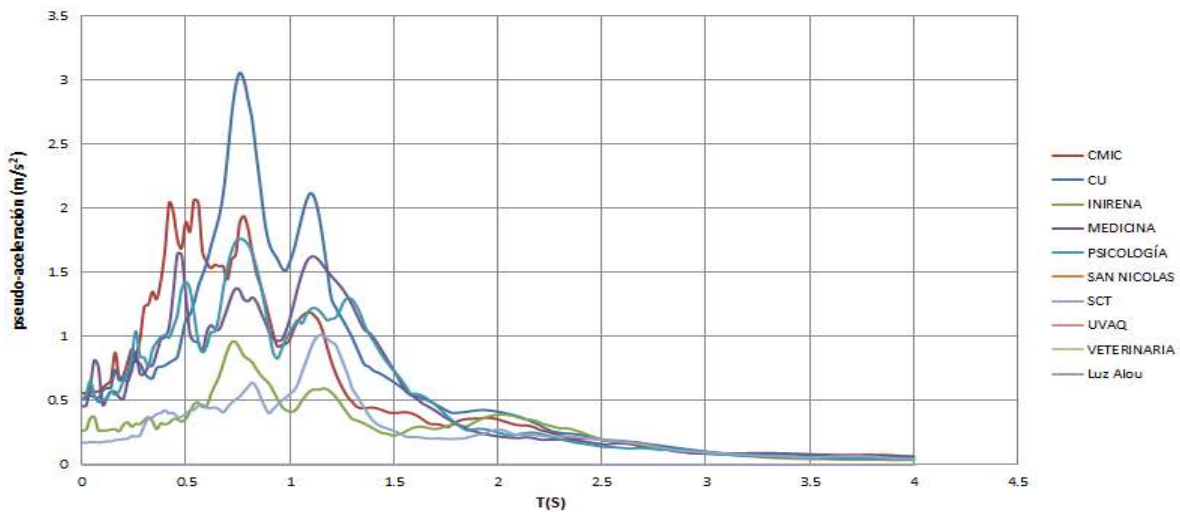


Figura 59. Espectros de respuesta en componente E-W

Espectros de respuesta del temblor Cruccecita Oaxaca

Los espectros de pseudo-aceleración de las tres componentes Vertical, N-S y E-W del temblor 23 de junio del 2020 se muestran en las figura 60 a 62. El eje vertical muestra las seudoaceleración en m/s^2 y el eje horizontal presenta el periodo en segundos.



- Espectros de Pseudo-Aceleración del temblor 23 de junio del 2020 Crucecita Oaxaca

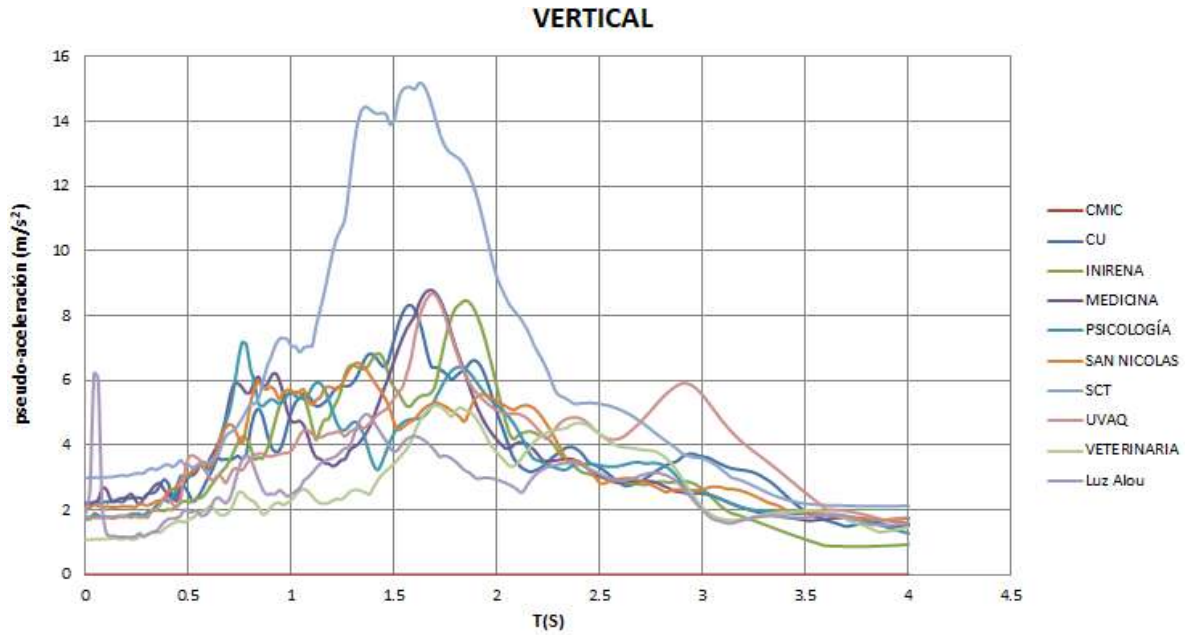


Figura 60. Espectros de respuesta en componente vertical.

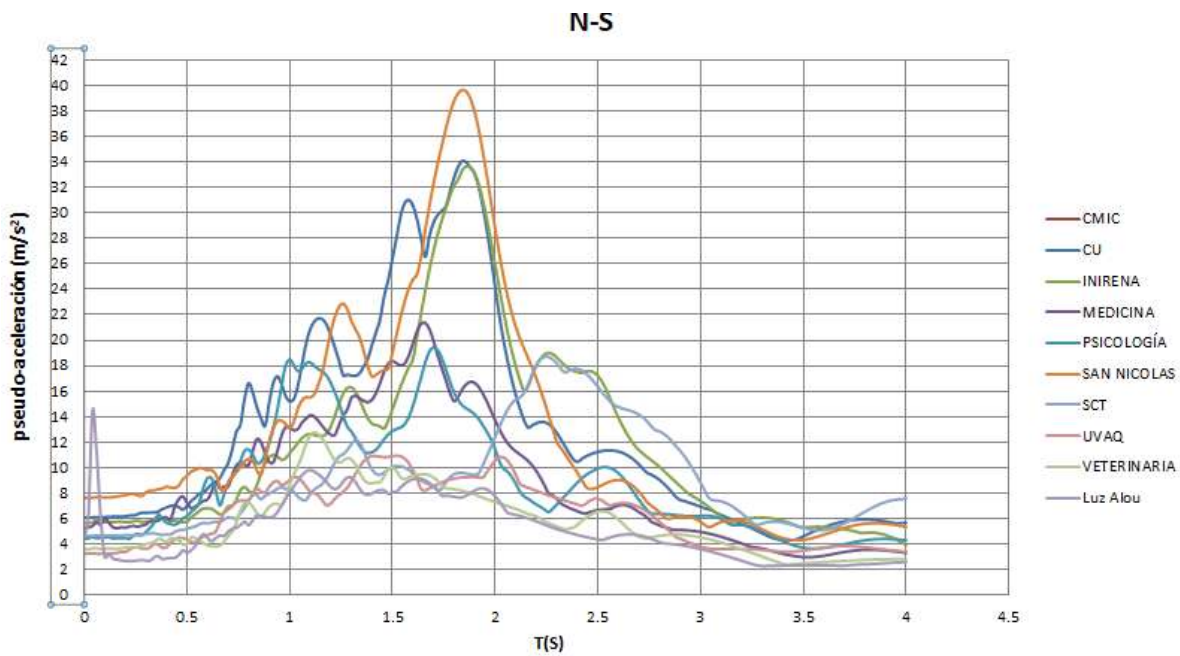


Figura 61. Espectros de respuesta en componente N-S.

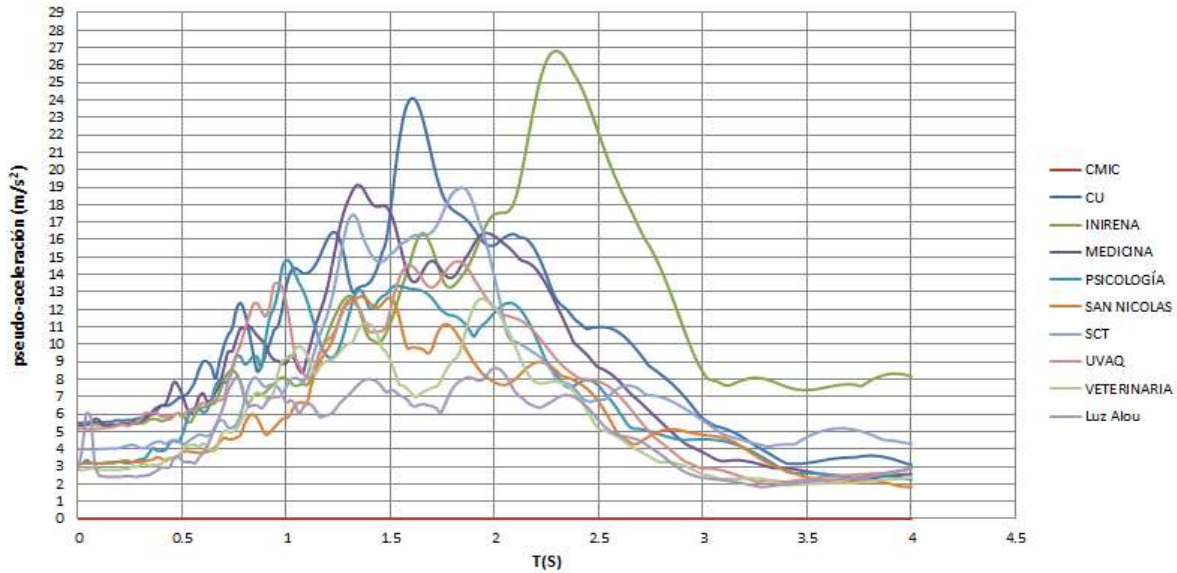


Figura 62. Espectros de respuesta en componente E-W.

La magnitud de este sismo es de 7.4, por ello las aceleraciones en la tres direcciones ortogonales son más grandes que las anteriores.

Espectro de respuesta del temblor Guacamayas Michoacán

Las figuras 63-65 muestran los espectros de pseudo-aceleración del temblor 12 de febrero del 2020. Nuevamente, el eje vertical muestra las pseudoaceleración en m/s^2 y el eje horizontal presenta el periodo en segundos.

- Espectros de pseudoaceleración del 12 de febrero del 2020 en Guacamayas Michoacán.

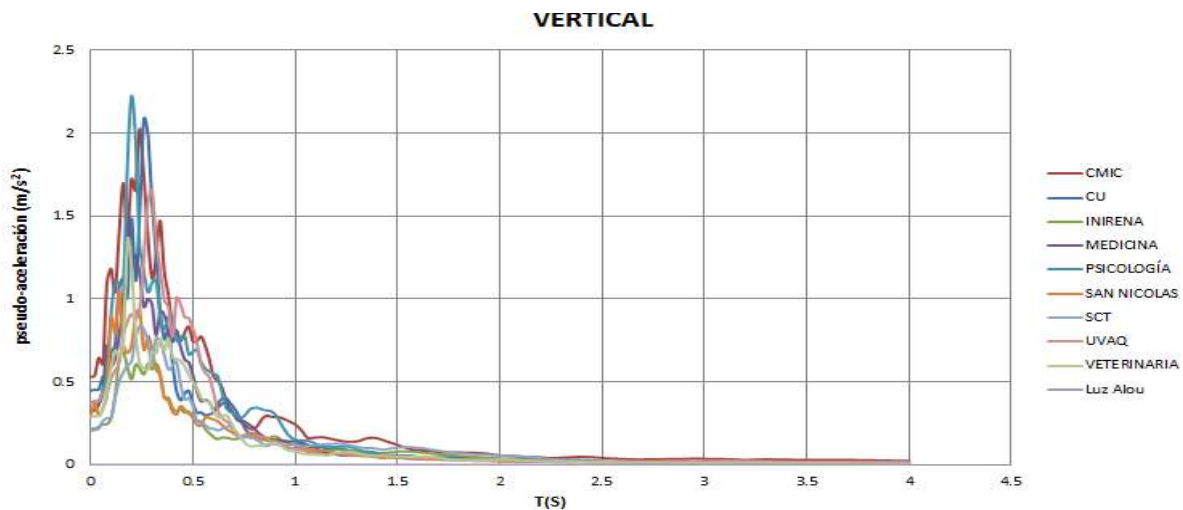


Figura 63. Espectros de respuesta en componente vertical.

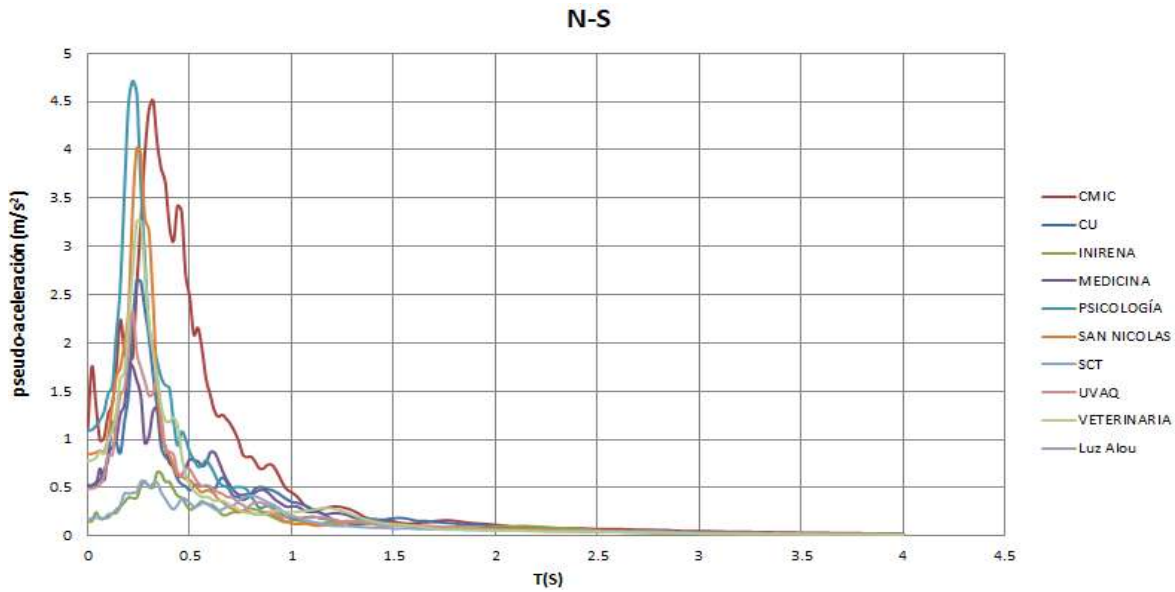


Figura 64. Espectros de respuesta en componente N-S.

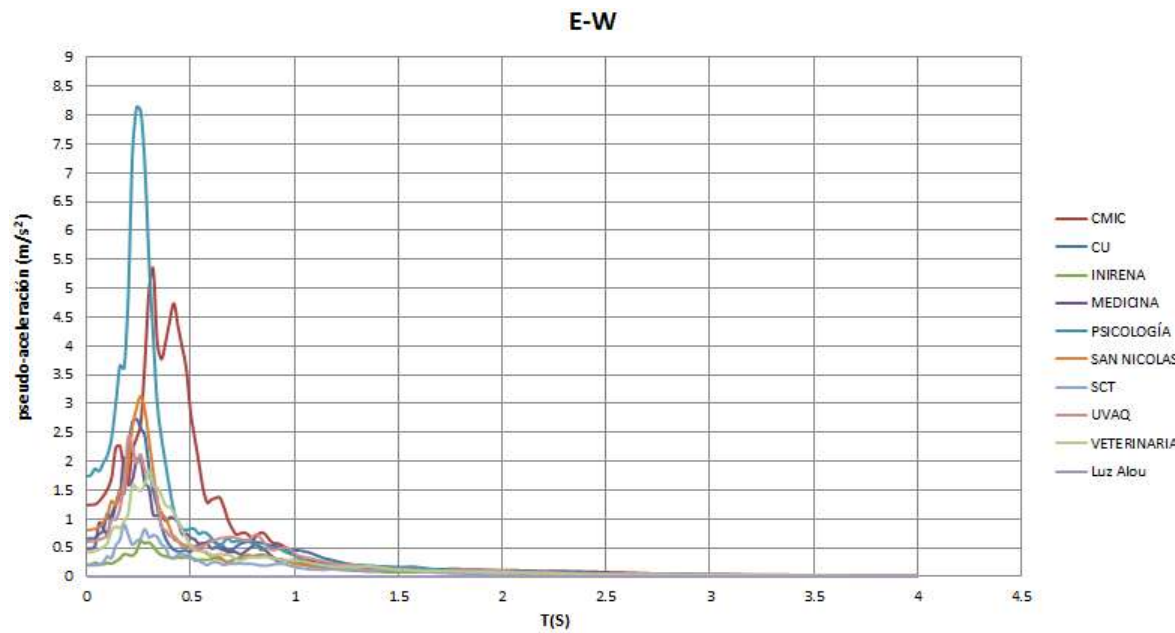


Figura 65. Espectros de respuesta en componente E-W.

Una vez más son notorias las diferentes amplitudes espectrales entre los diferentes sitios donde se localizan las estaciones sísmicas

Espectro de respuesta del temblor Morelia Michoacán

Este evento tuvo epicentro muy cercano a la ciudad de Morelia. Las figuras 66 a 68 muestran los espectros de pseudoaceleración del temblor 21 de enero del 2020



en Morelia Michoacán. El eje vertical muestra las pseudoaceleración en m/s^2 y el eje horizontal presenta el periodo en segundos.

- temblor 21 de enero del 2020

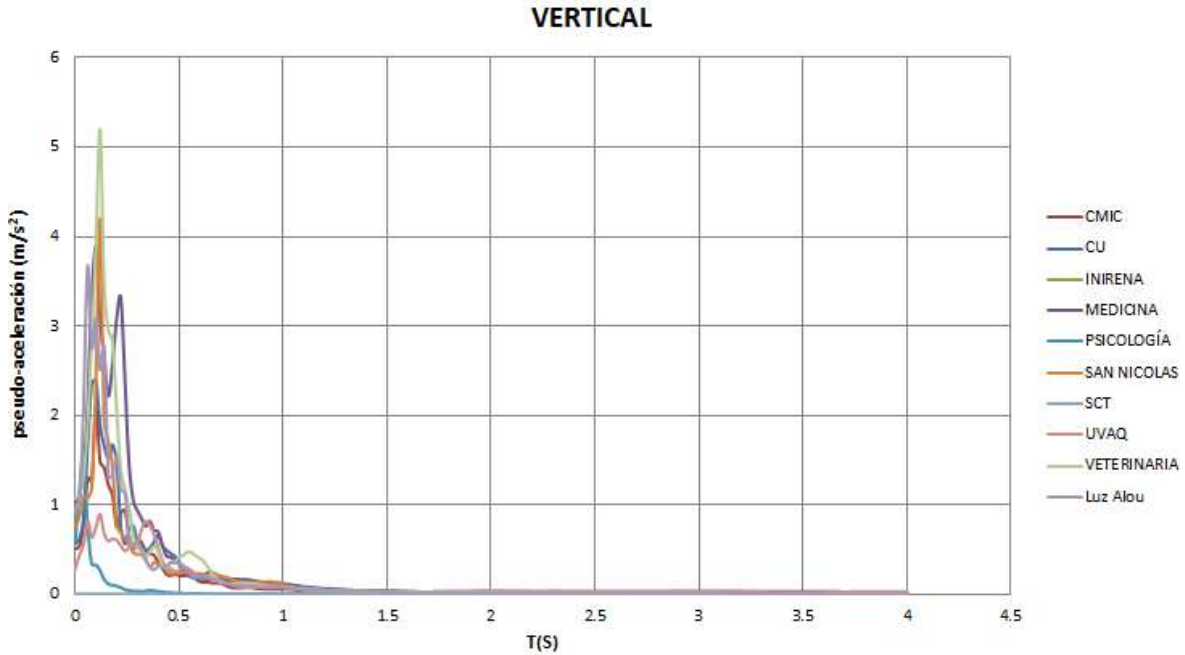


Figura 66. Espectros de respuesta en componente vertical.

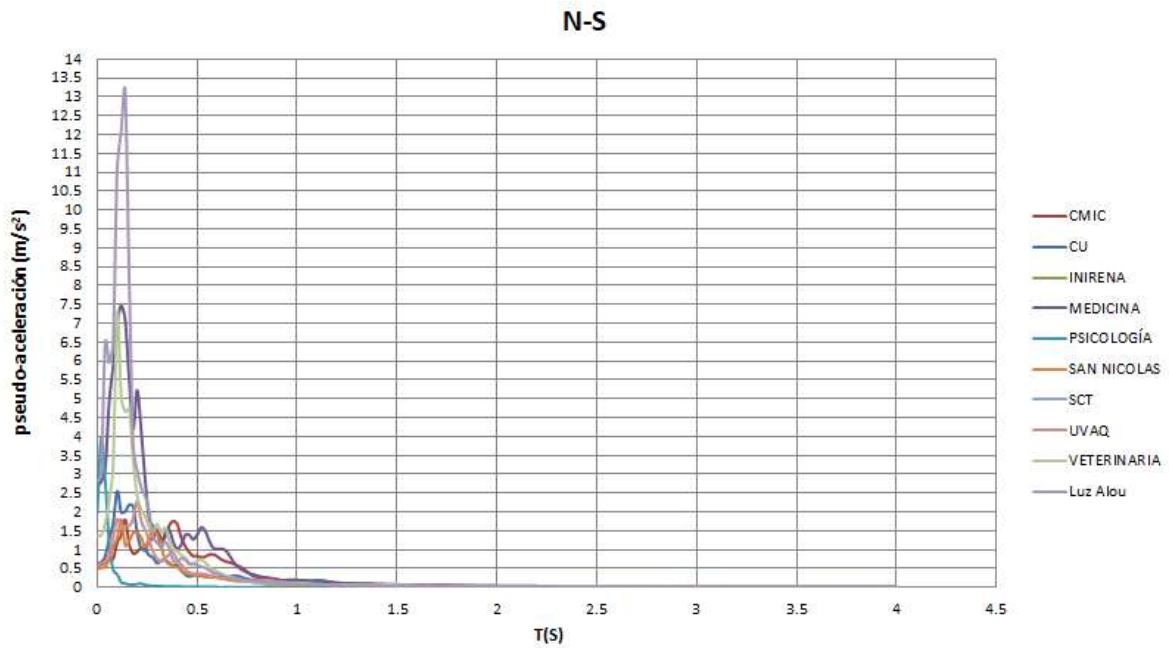


Figura 67. Espectros de respuesta en componente N-S.

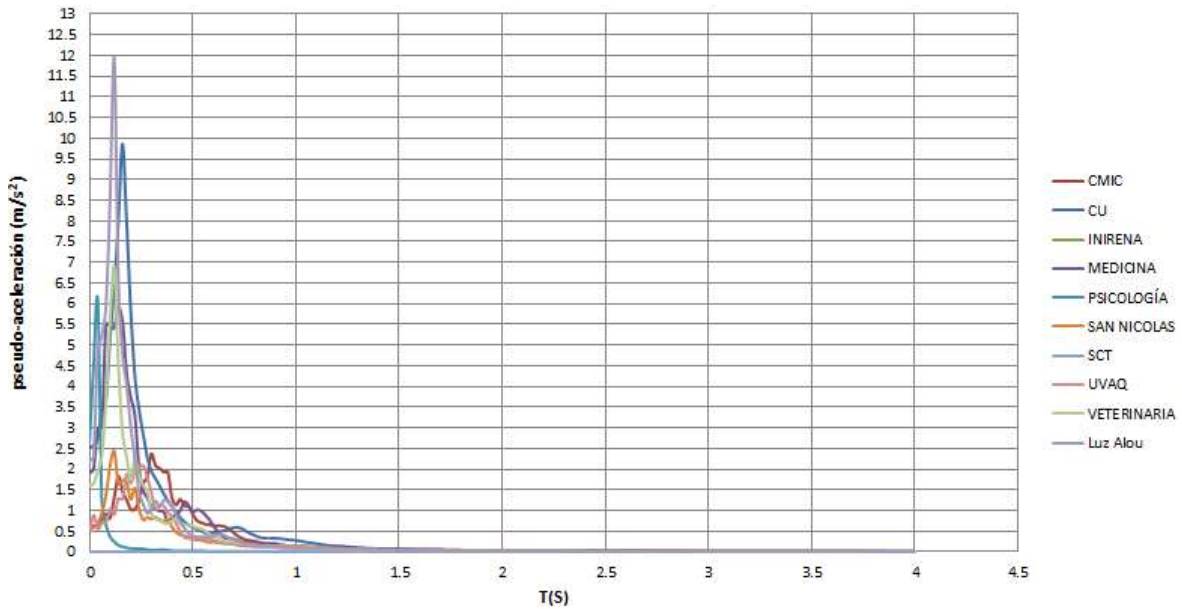


Figura 68. Espectros de respuesta en componente E-W.

Espectro de respuesta del temblor Petatlán Guerrero

Las figuras 69 a 71 muestran los espectros de pseudo-aceleración del temblor 6 de abril del 2020 ocurrido en Petatlán, Guerrero. El eje vertical muestra la pseudoaceleración en m/s^2 y el eje horizontal presenta el periodo en segundos.

- Espectros de respuesta del temblor 6 de abril del 2020

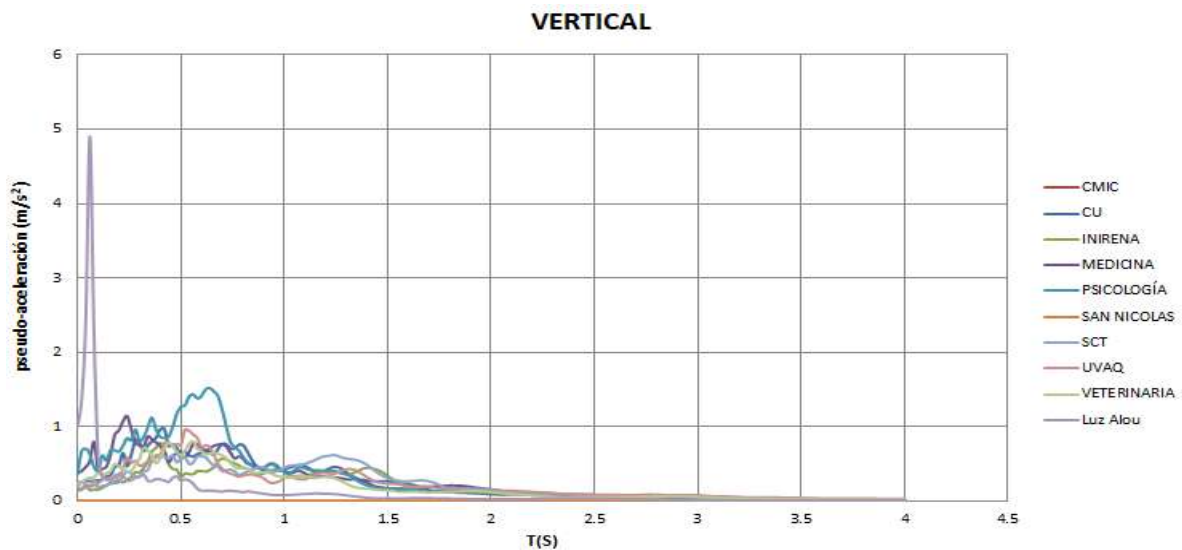


Figura 69. Espectros de respuesta en componente vertical.

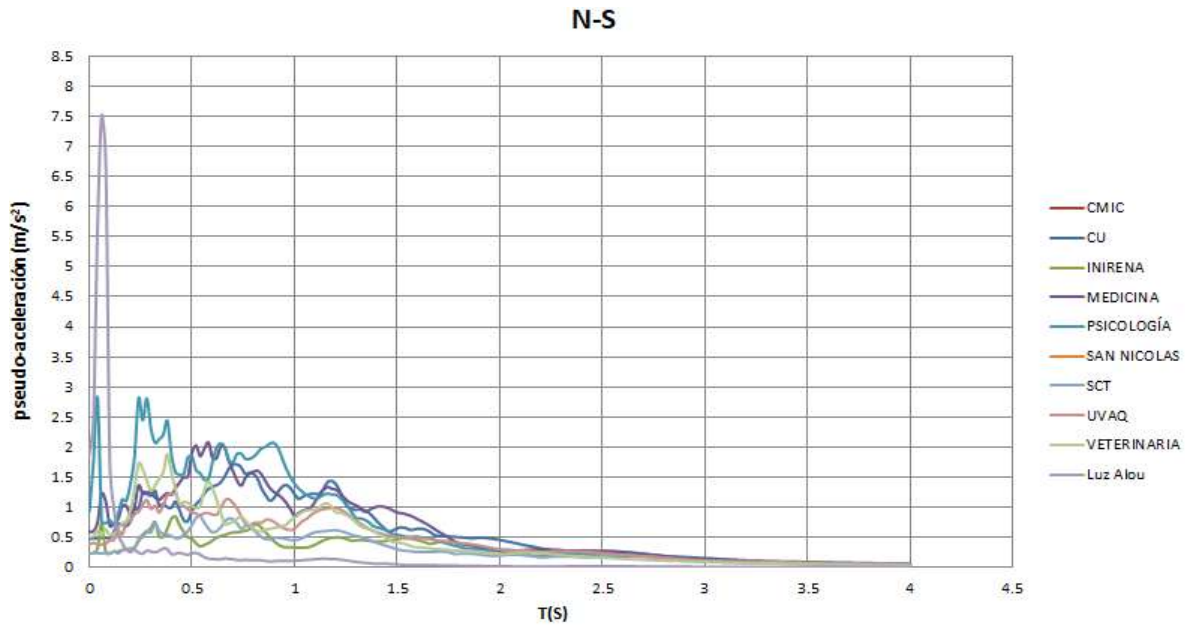


Figura 70. Espectros de respuesta en componente N-S.

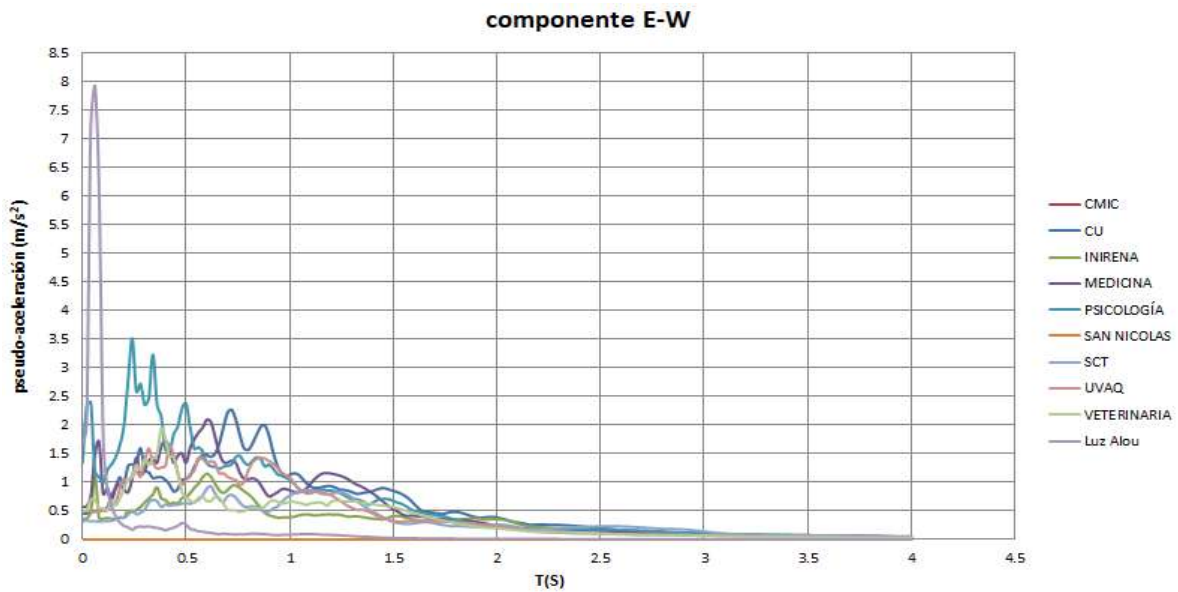


Figura 71. Espectros de respuesta en componente E-W.

Espectros de respuesta del temblor Pinotepa Nacional Oaxaca

Los siguientes espectros pertenecen al temblor del 22 de abril del 2019 que se registró en cuatro estaciones (figura 72 a 74). Al igual que en los casos anteriores, el eje vertical muestra las pseudoaceleración en m/s^2 y el eje horizontal presenta el periodo en segundos.



- Espectros de respuesta del temblor 6 de abril del 2020

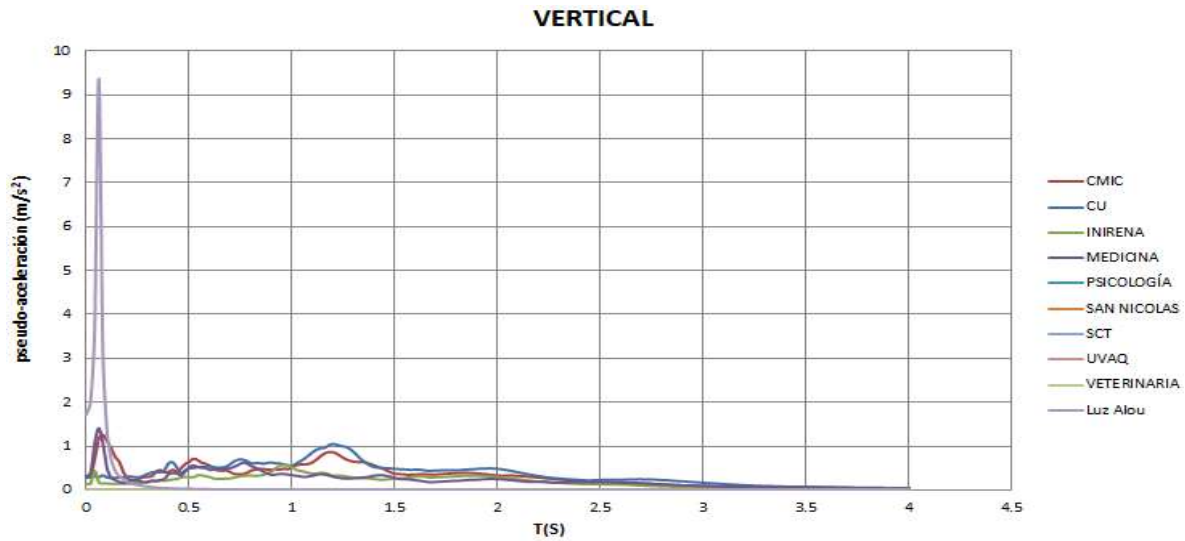


Figura 72. Espectros de respuesta en componente vertical.

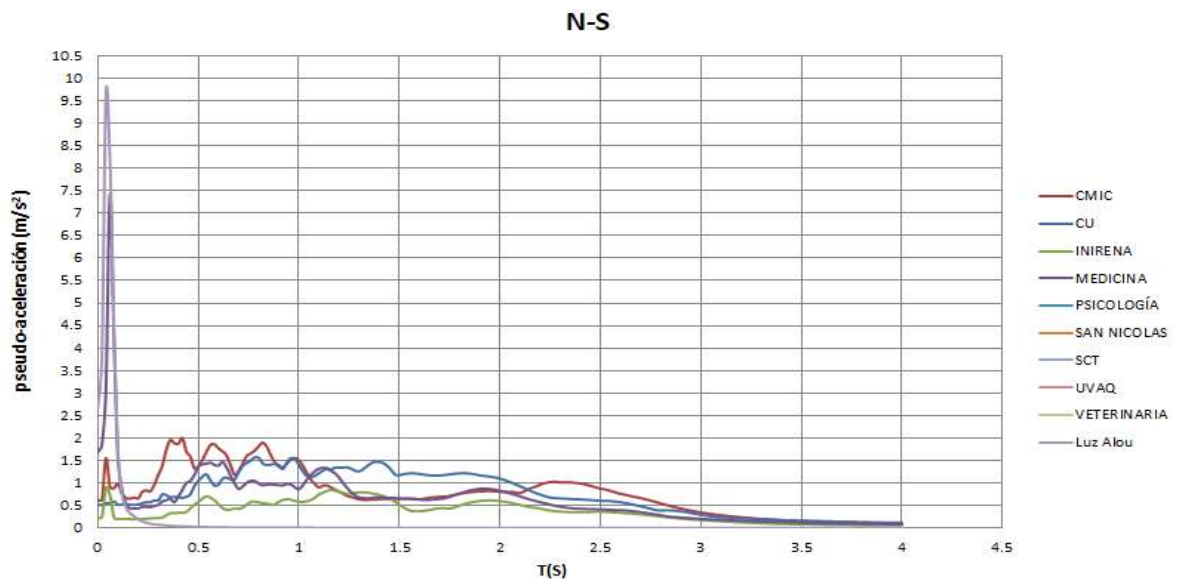


Figura 73. Espectros de respuesta en componente N-S.

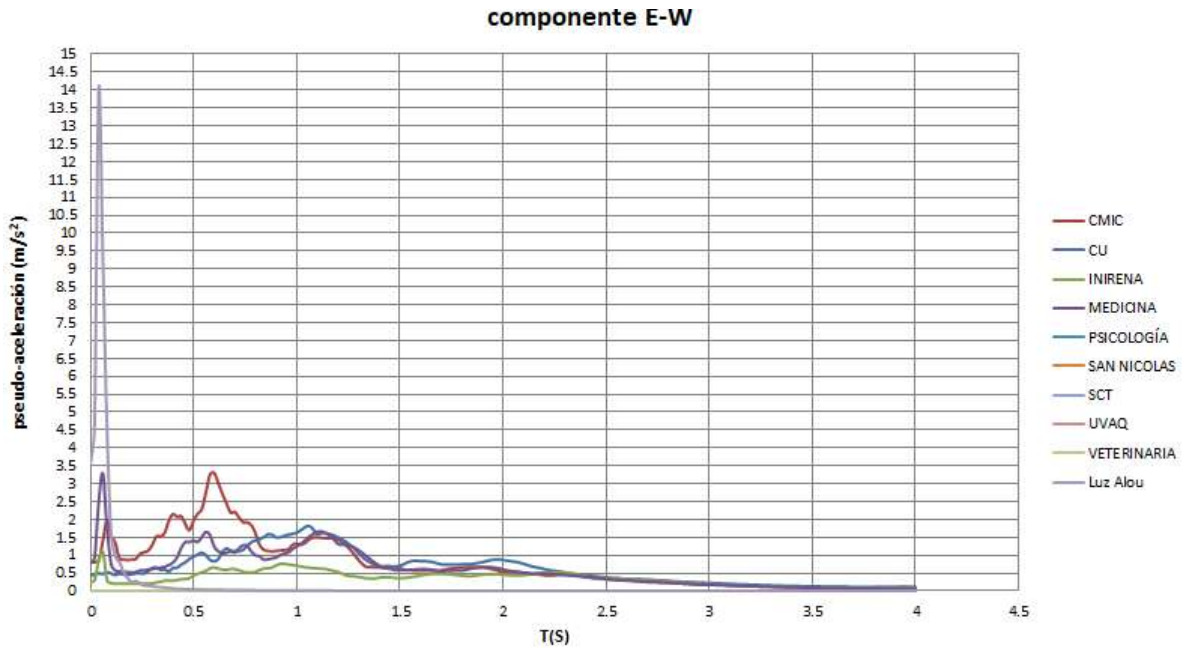


Figura 74. Espectros de respuesta en componente E-W.

Espectro de respuesta del temblor San Marcos Guerrero

El sismo del 19 de marzo del 2021 es uno de los ocurrieron en este año 2021, y se registró en nueve estaciones.

- Espectros de pseudoaceleración del temblor 19 de marzo del 2021

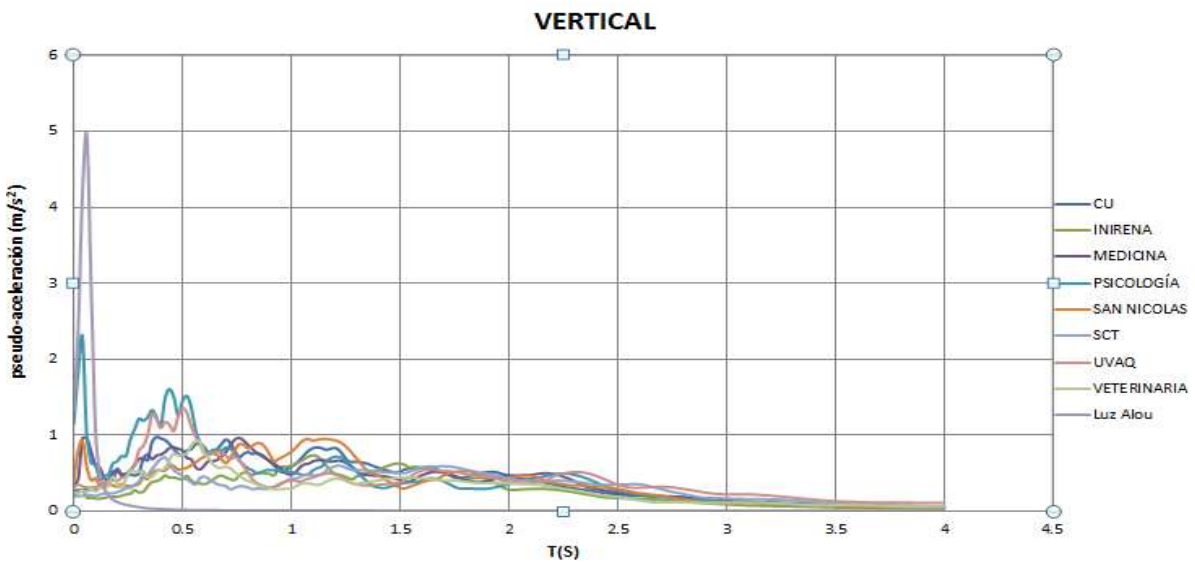


Figura 75. Espectros de respuesta en componente vertical.

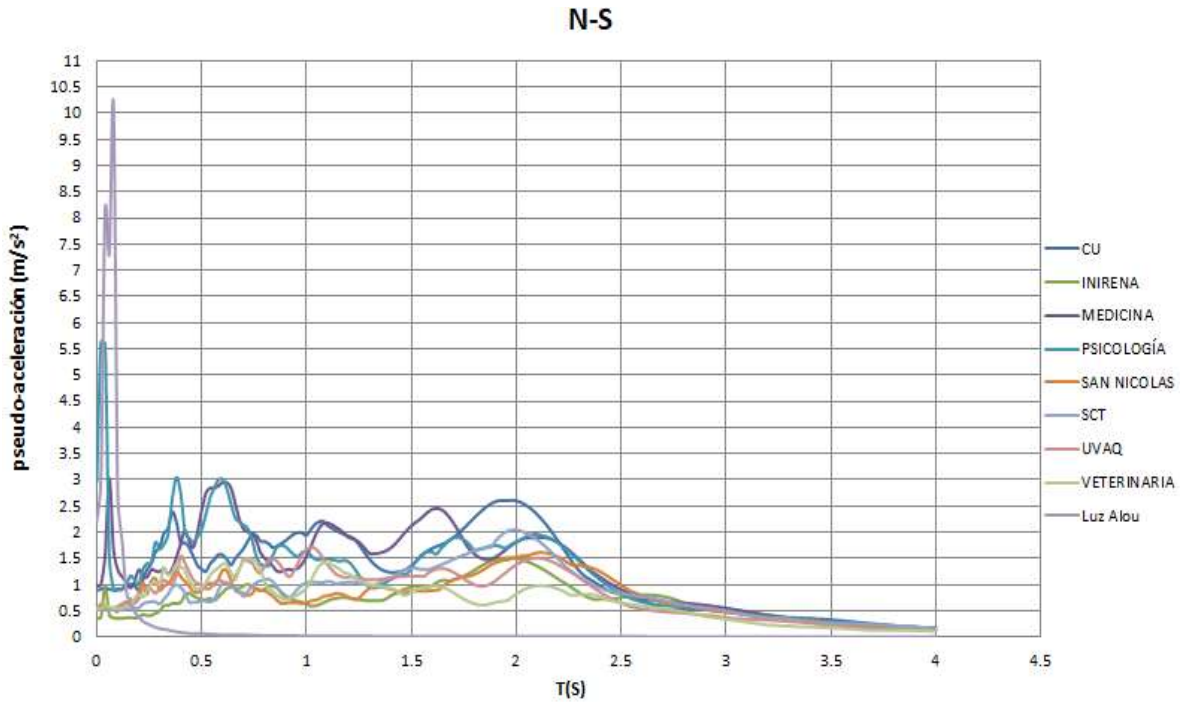


Figura 76. Espectros de respuesta en componente N-S.

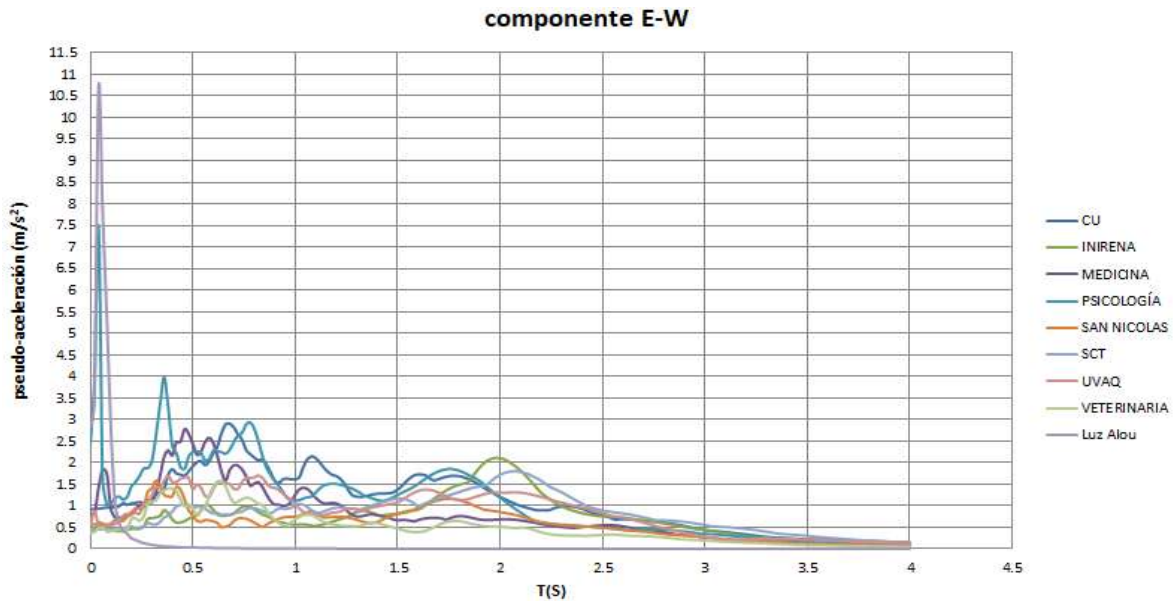


Figura 77. Espectros de respuesta en componente E-W.

Espectro de respuesta del temblor Cd Hidalgo Chiapas

Las figuras 78 a 80 presentan los siguientes espectros de pseudoaceleración del sismo del 1 de febrero del 2019 en el estado de Chiapas. Se registró únicamente en cuatro estaciones, como se muestra a continuación:



- Espectro del pseudo-aceleración del sismo 1 de febrero del 2019

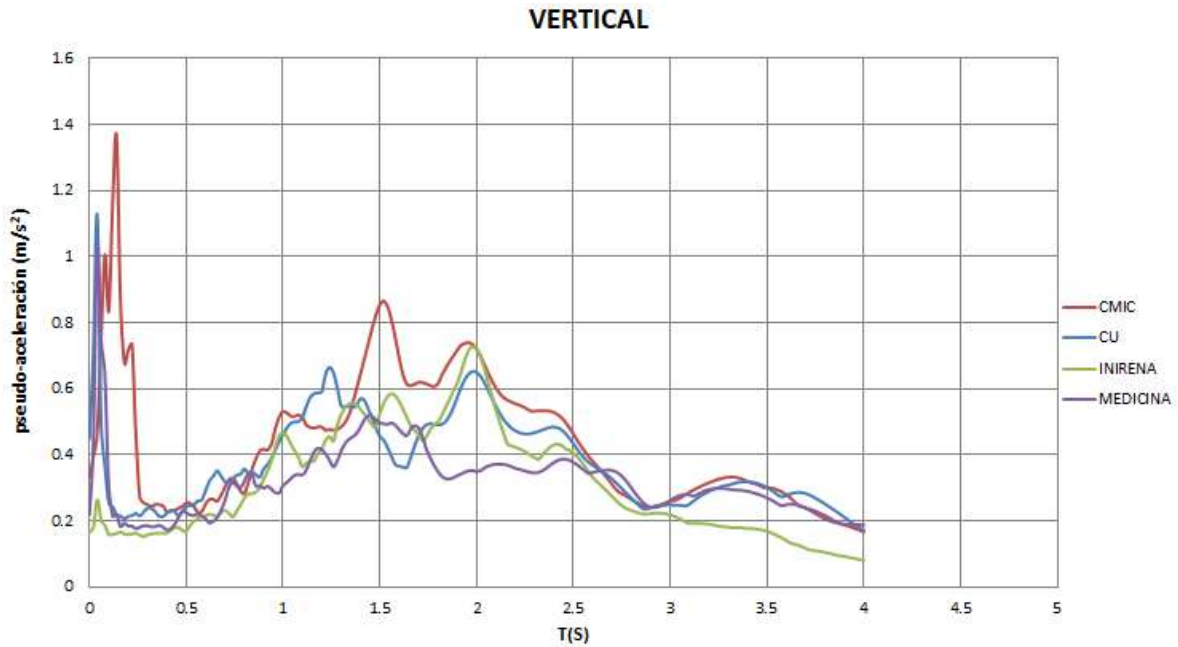


Figura 78. Espectros de respuesta en componente vertical.

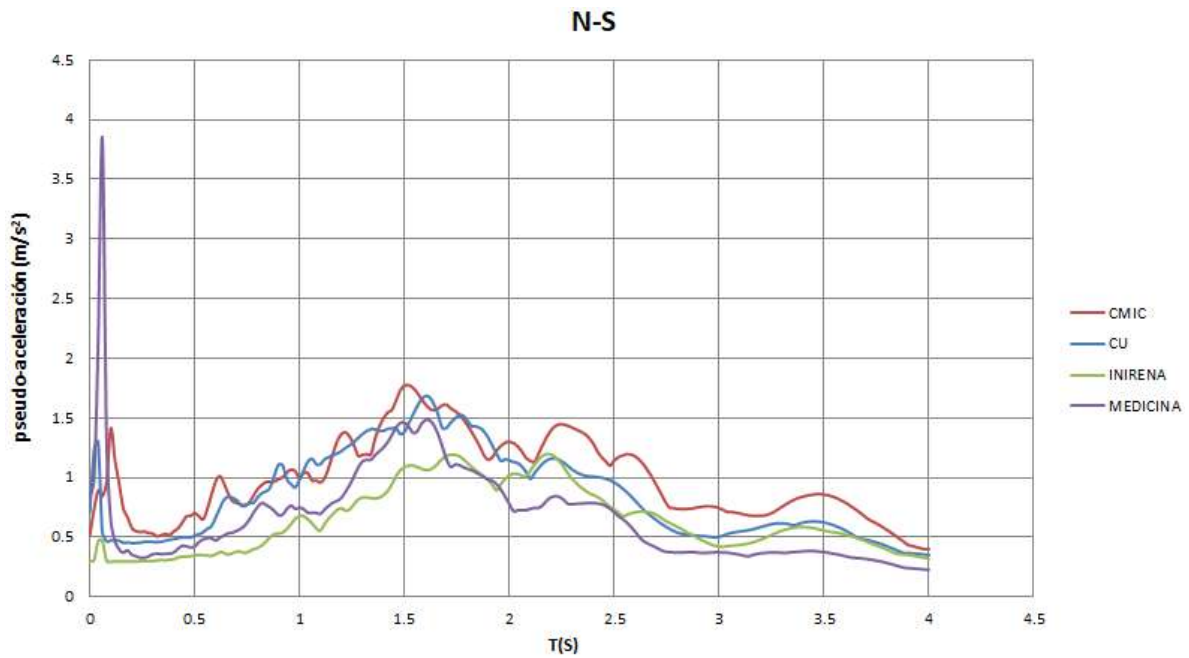


Figura 79. Espectros de respuesta en componente N-S.

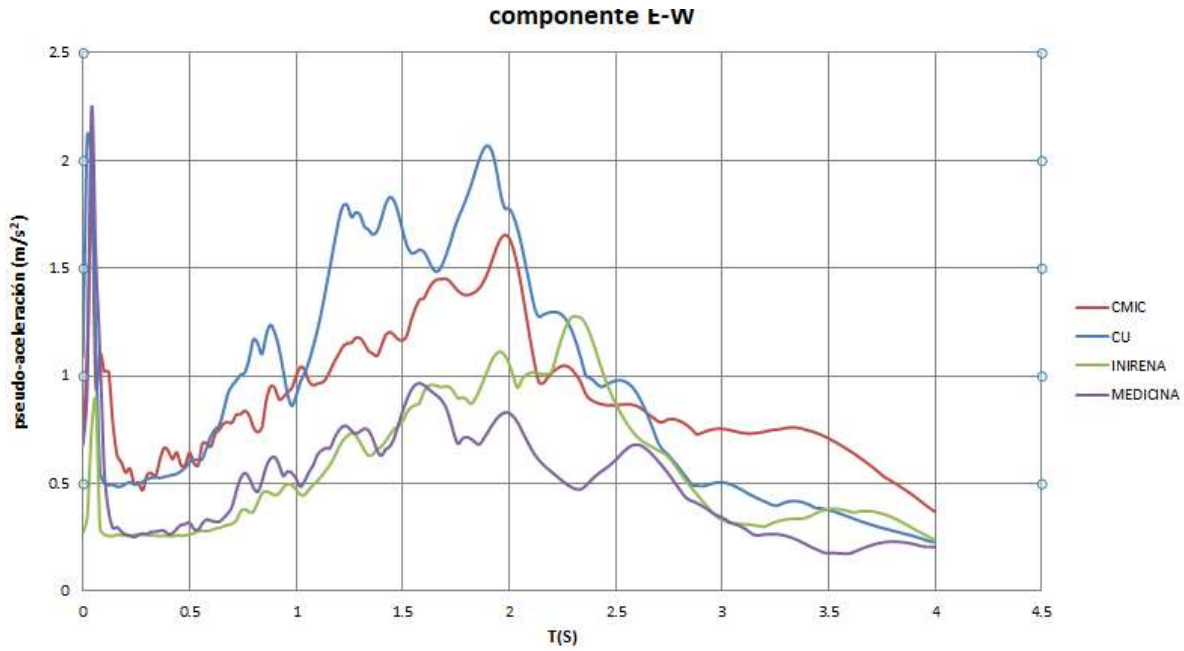


Figura 80. Espectros de respuesta en componente E-W.

Espectros de respuesta del temblor Huetamo Michoacán

Con epicentro en el Estado de Michoacán, este sismo se registró en nueve estaciones de la Red Sísmica, la única estación que no registró fue la de Luz Alou. Las figuras 81 a 83 muestran los espectros respectivos.

- Espectros de pseudo-aceleración del 3 de marzo del 2019

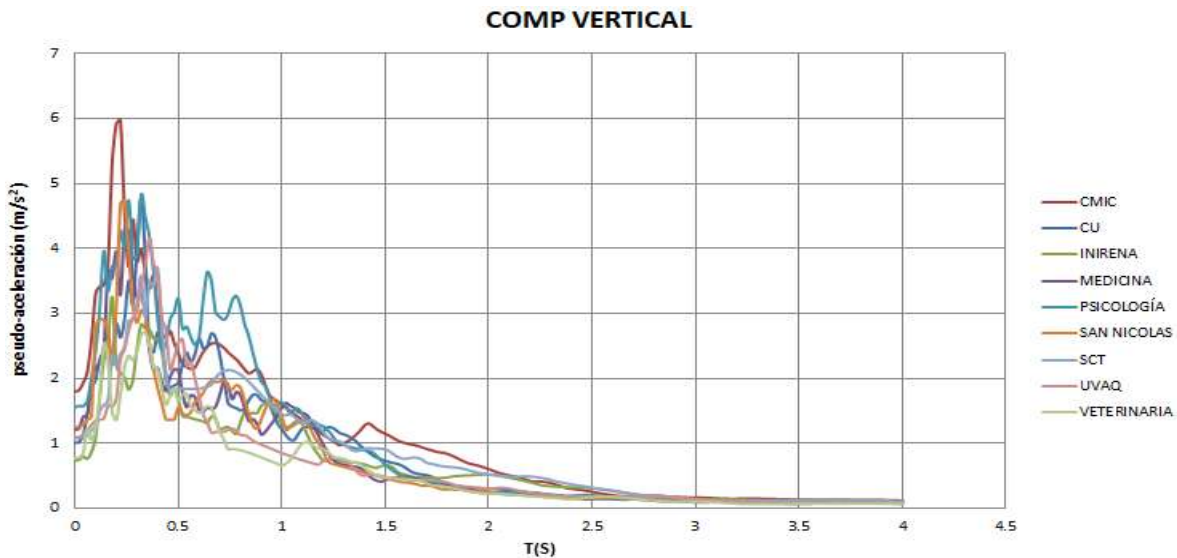


Figura 81. Espectros de respuesta en componente vertical.

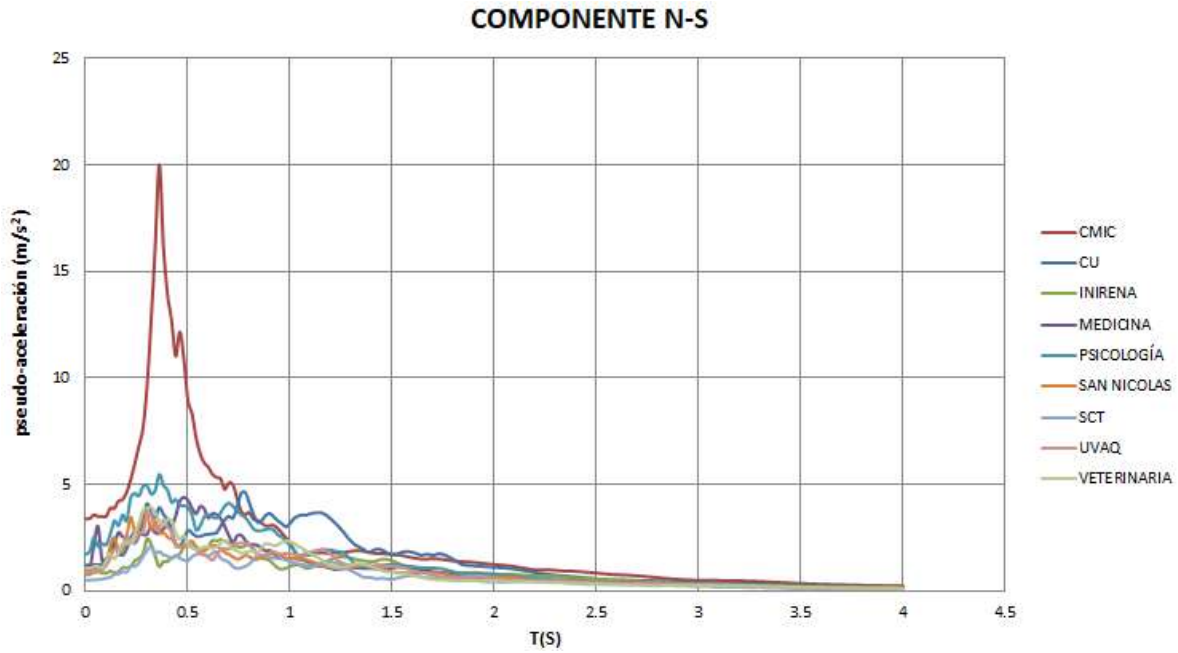


Figura 82. Espectros de respuesta en componente N-S.

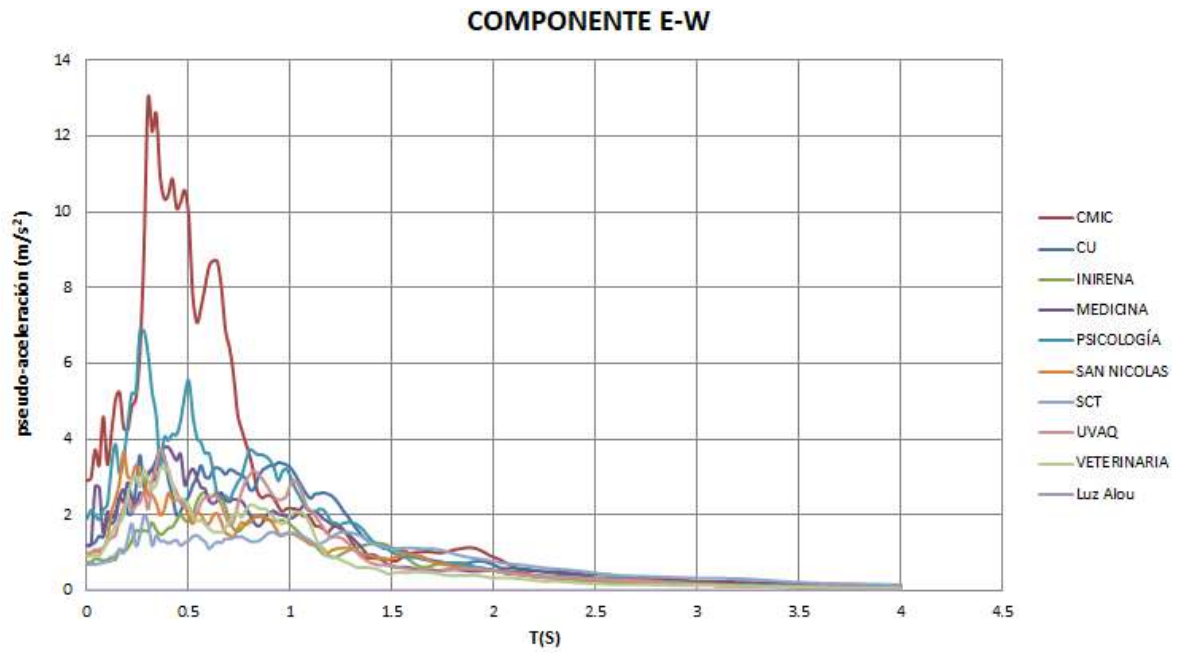


Figura 83. Espectros de respuesta en componente E-W.



Espectros de respuesta del temblor Nueva Italia Michoacán

Nuevamente con epicentro en Michoacán, este sismo se registró en las diez estaciones de la Red Sísmica. Las figuras 84 a 86 presentan los espectros de las tres componentes.

- Espectro de pseudo-aceleración del temblor Nueva Italia Michoacán

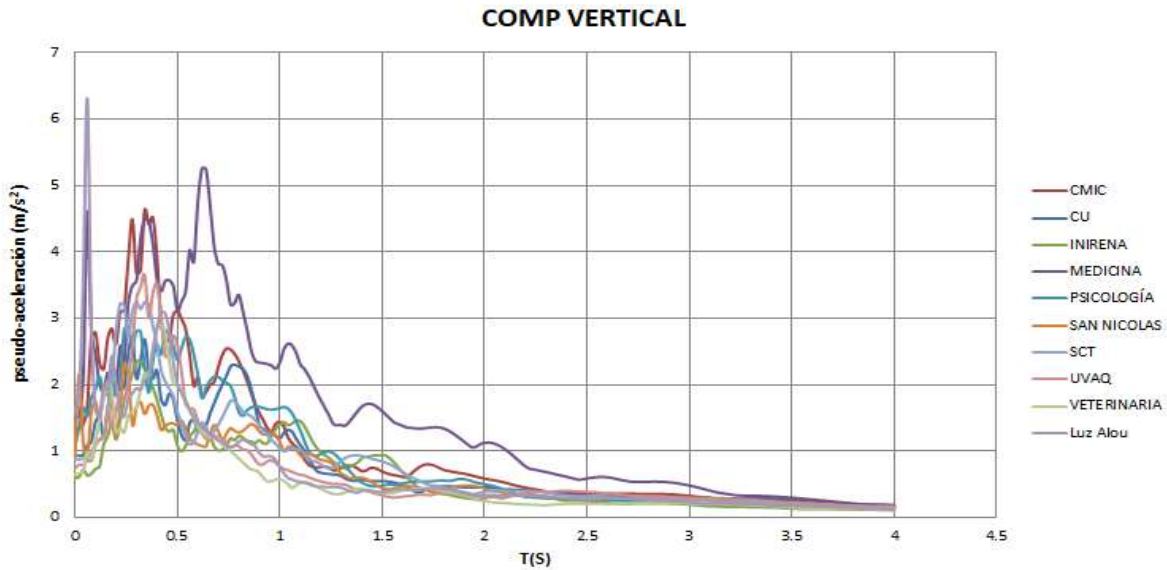


Figura 84. Espectros de respuesta en componente vertical.

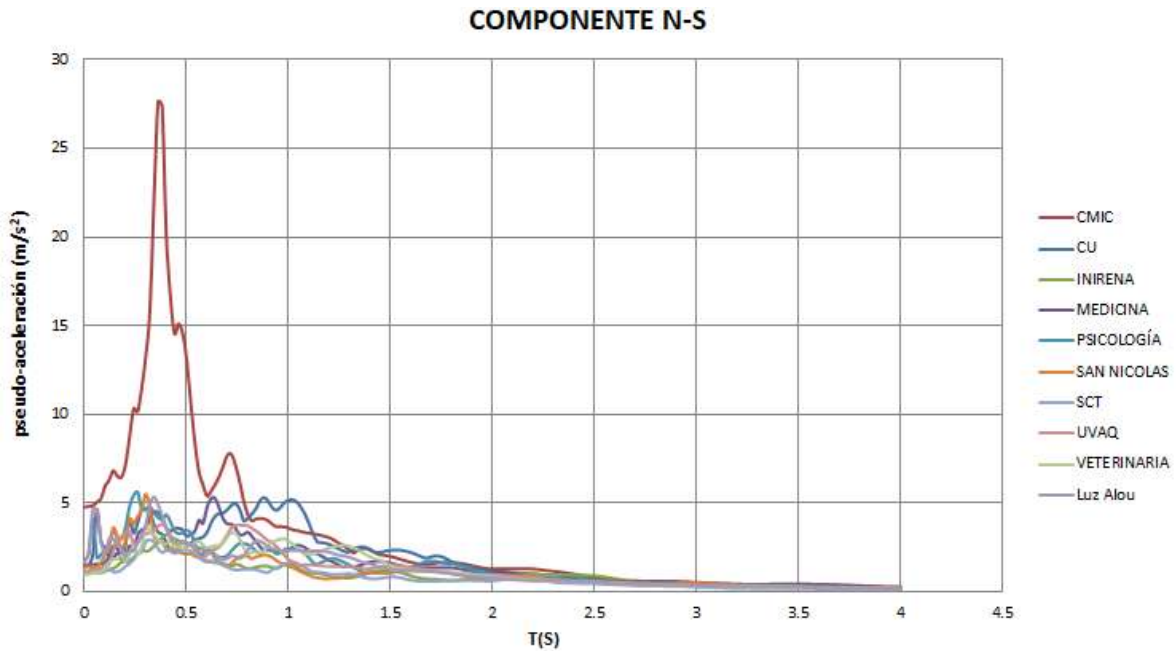


Figura 85. Espectros de respuesta en componente N-S.

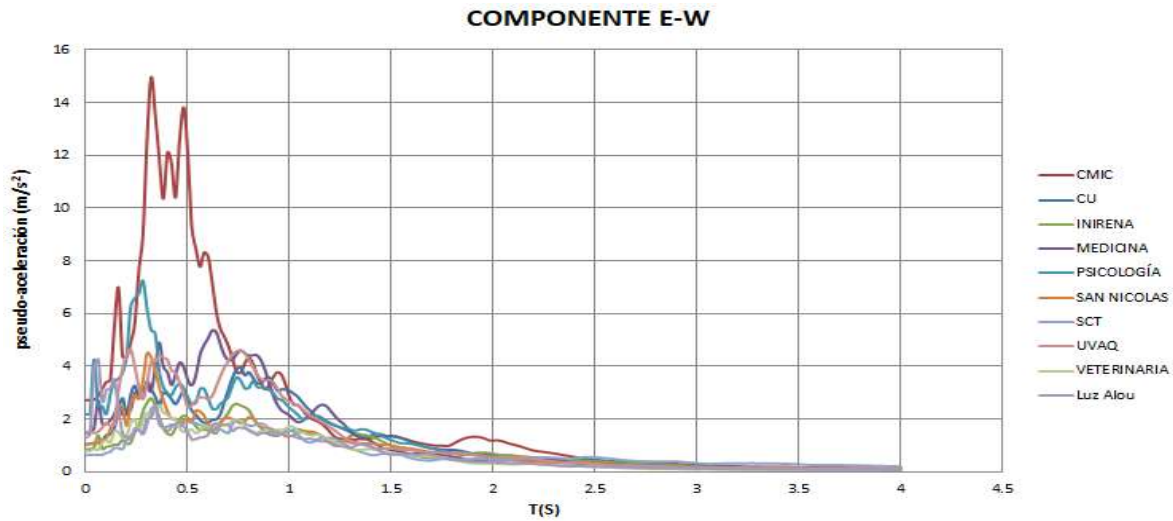


Figura 86. Espectros de respuesta en componente E-W.

Espectros de pseudoaceleración de los temblores Pinotepa Nacional Oaxaca

Se muestran a continuación los espectros de dos sismos con epicentro en Pinotepa Nacional Oaxaca. El primero ocurrió el 16 de febrero del 2018 (figuras 87 a 89) y el segundo ocurrió en el mismo lugar pero el 19 de febrero de 2018 (figuras 90 a 92), ambos sismos se registraron en solo cuatro estaciones como se muestra en las siguientes figuras:

- Espectro de pseudoaceleración del 16 de febrero del 2018

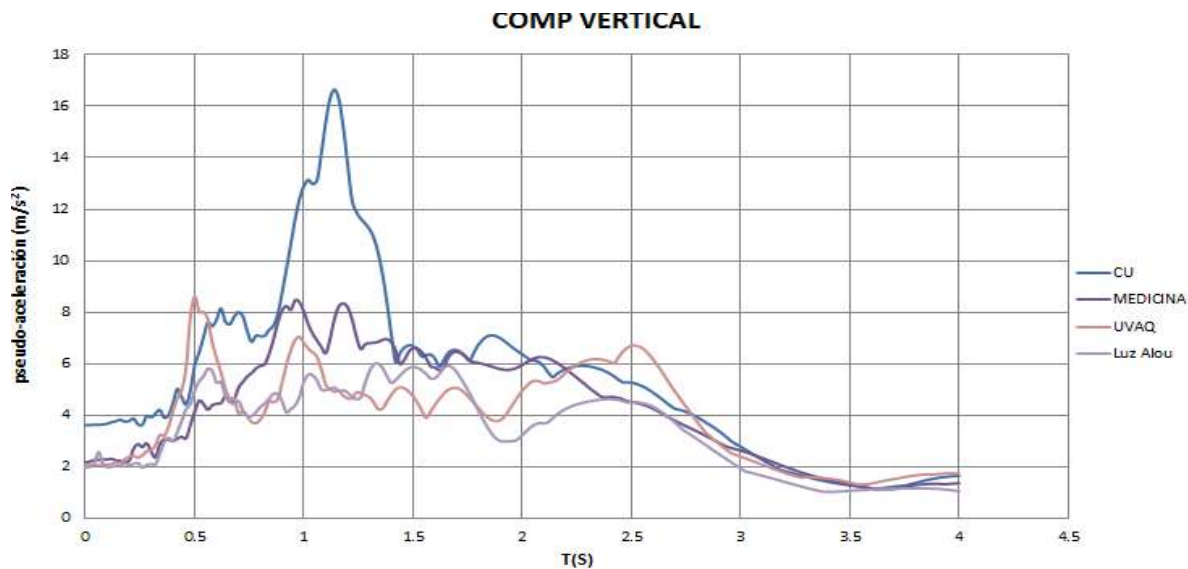


Figura 87. Espectros de respuesta en componente vertical.

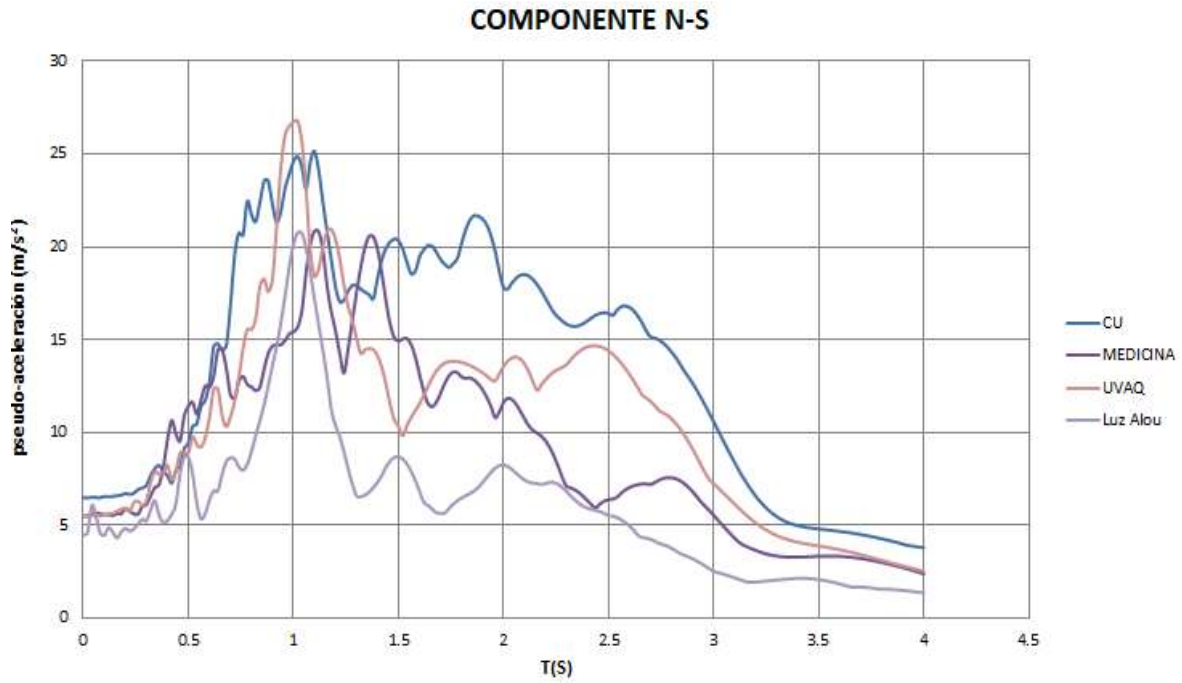


Figura 88. Espectros de respuesta en componente N-S.

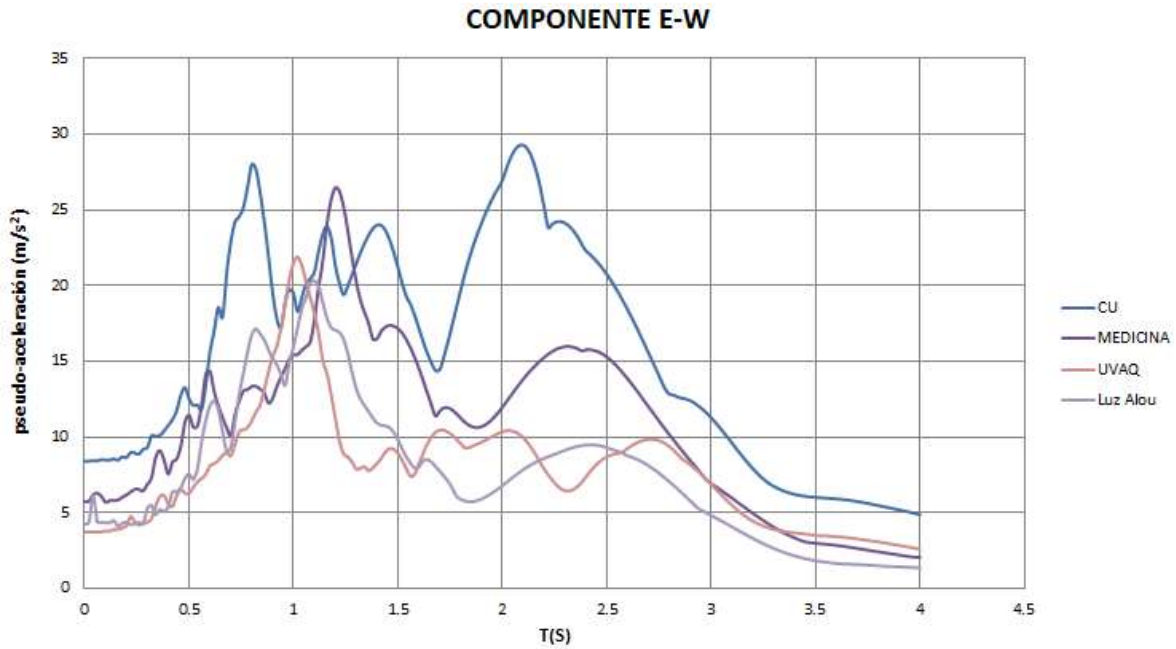


Figura 89. Espectros de respuesta en componente E-W.

- Espectro de pseudoaceleración del 19 de febrero del 2018

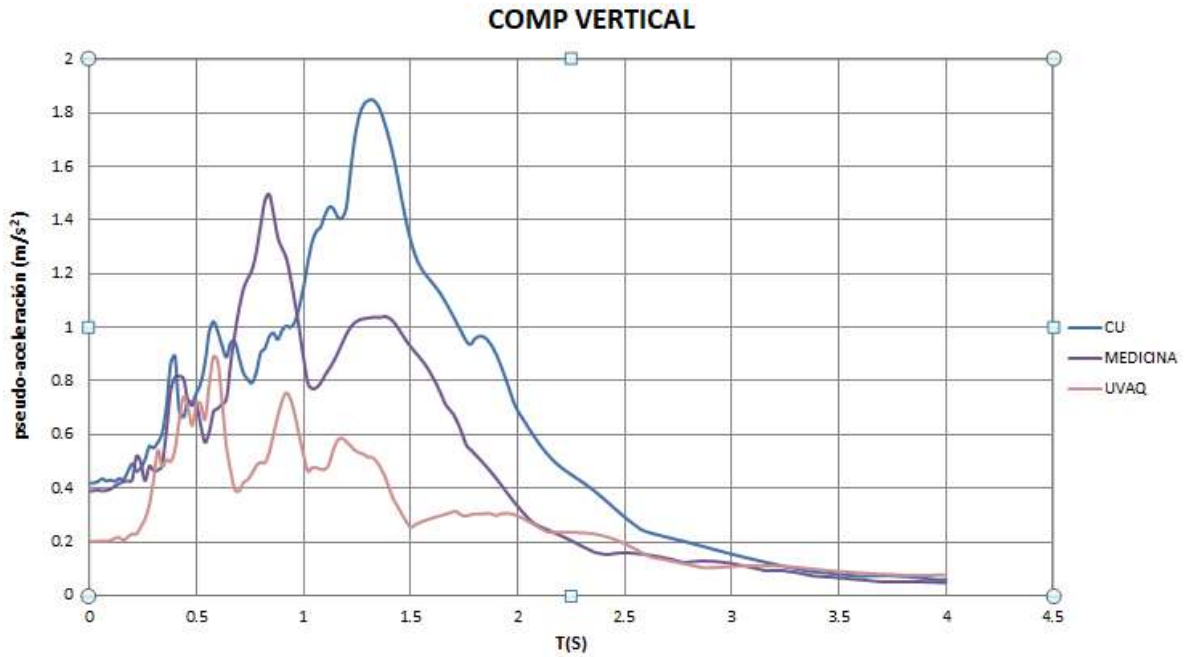


Figura 90. Espectros de respuesta en componente vertical.

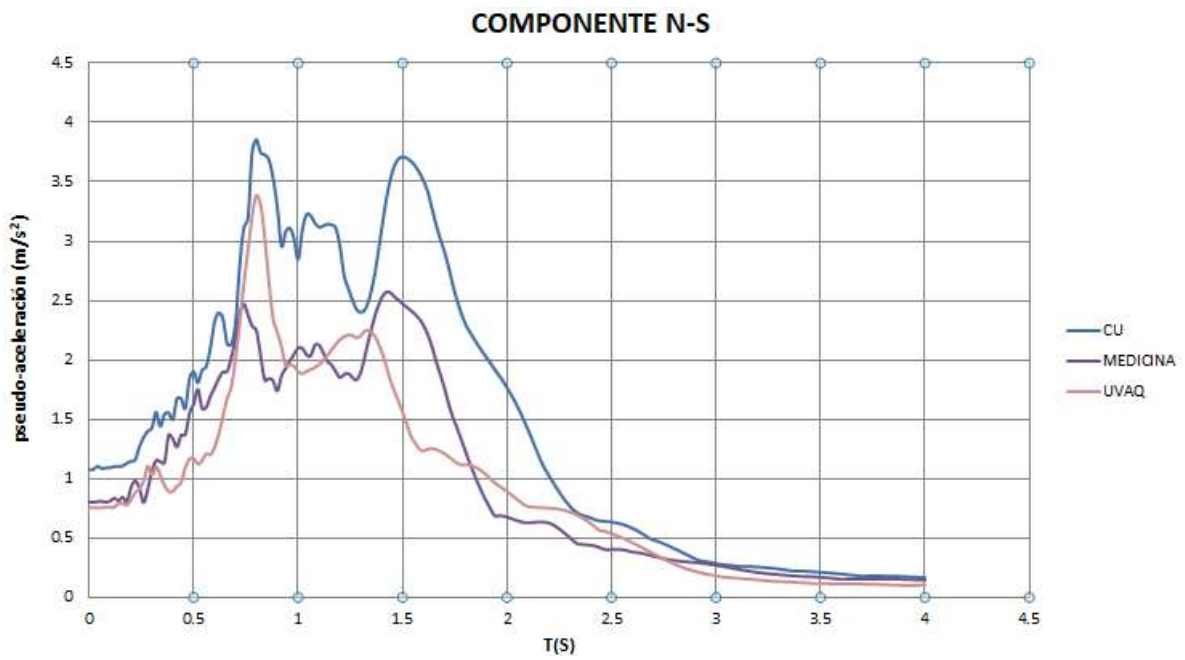


Figura 91. Espectros de respuesta en componente N-S.

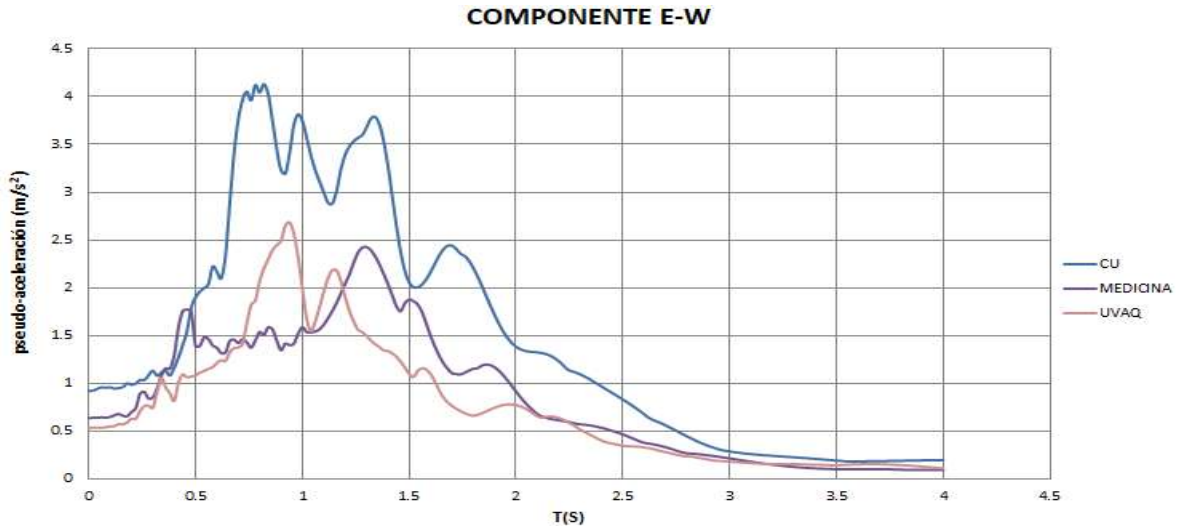


Figura 92. Espectros de respuesta en componente E-W.

Espectros de Seudoaceleración del temblor Acapulco Guerrero

Este es el último temblor registrado en la Red Sísmica Nicolaita hasta la fecha. El temblor ocurrió en Acapulco Guerrero con magnitud de 7.1, las aceleraciones máximas del suelo y las aceleraciones espectrales de este sismo fueron mucho mayores que las de los temblores anteriores, debido a la magnitud del temblor y la posición del epicentro.

- Espectro de seudoaceleración del temblor 7 de septiembre del 2021

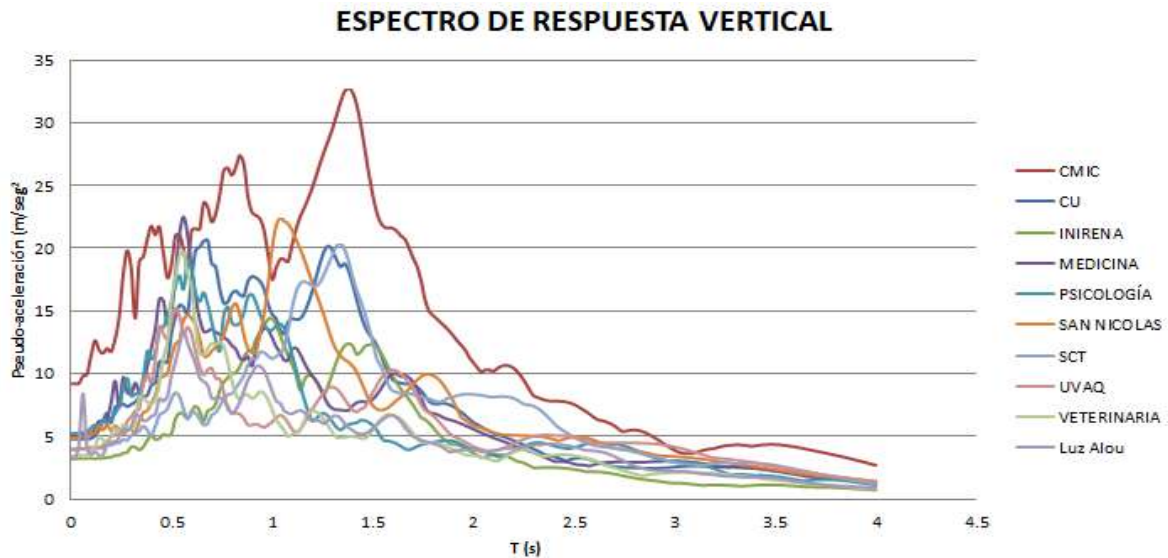


Figura 93. Espectros de respuesta en componente vertical.



ESPECTRO DE RESPUESTA N-S

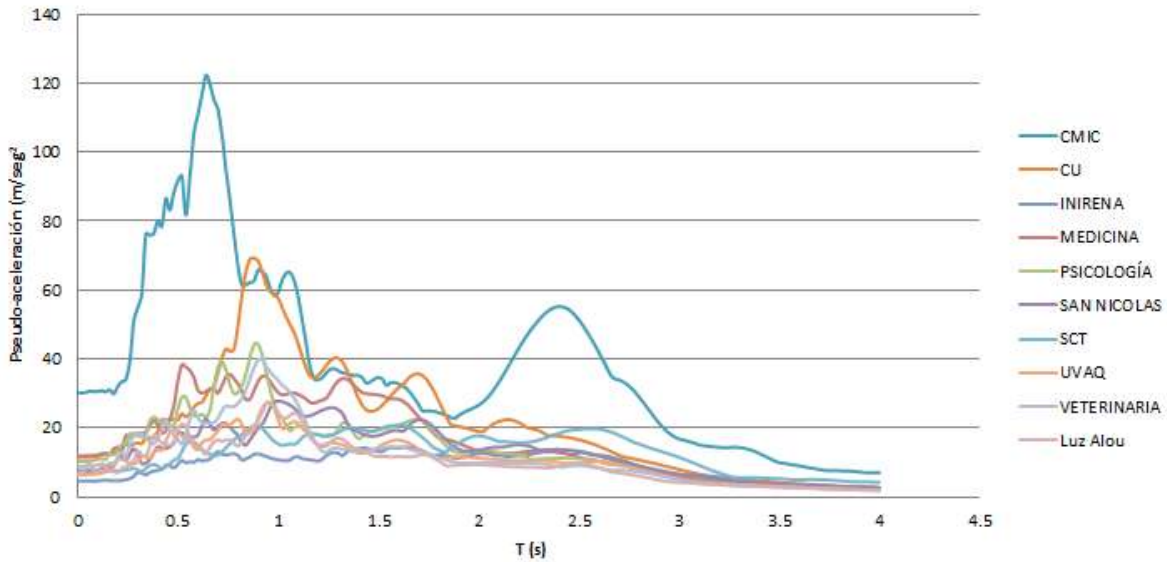


Figura 94. Espectros de respuesta en componente N-S.

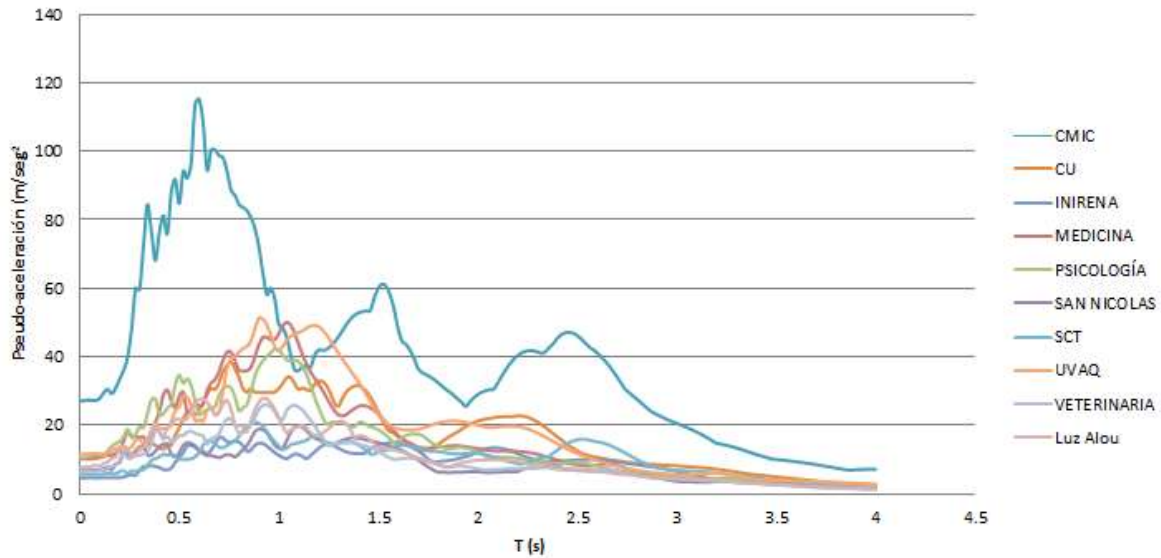


Figura 95. Espectros de respuesta en componente E-W.

Claramente, este evento evidenció nuevamente las diferencias de la respuesta sísmica de los distintos sitios donde se localizan las estaciones sísmicas en Morelia.

Aceleraciones máximas del suelo registradas en las redes sísmicas del Nicolaita



Una vez obtenidos todos los espectros de respuesta de los temblores, observamos que en la mayoría de los eventos, las aceleraciones máximas del suelo y las mayores amplitudes espectrales se presentan en las estaciones CMIC y Luz Alou. Para mostrar más claramente las estaciones sísmicas donde se presentó más frecuentemente la aceleración máxima, la tabla 18 presenta las aceleraciones máximas de los 15 temblores con sus respectivas estaciones.

Los sitios con color gris son las estaciones sin registro.

Tabla 18. Aceleraciones máximas registradas en las estaciones de la red sísmica.

TEMBLOR		T (s)	CMIC			CU			INIRENA			LUZ ALOU		
LUGAR	FECHA		COMP VERTICAL	COMP N-S	COMP E-W	COMP VERTICAL	COMP N-S	COMP E-W	COMP VERTICAL	COMP N-S	COMP E-W	COMP VERTICAL	COMP N-S	COMP E-W
Cd. Altamirno	22/03/2019	0	0.404	1.043	1.188	0.625	0.524	0.520	0.198	0.223	0.239	-	-	-
Coyuca d Benitez Gro	30/01/2020	0	0.171	0.513	0.559	0.189	0.392	0.516	0.145	0.129	0.269	-	-	-
Cruccecita Oxa	23/06/2020	0	-	-	-	2.227	6.079	5.489	1.784	5.665	5.371	1.922	4.558	2.871
Guacamayas	12/02/2020	0	0.531	1.112	1.239	0.447	0.525	0.661	0.217	0.151	0.208	-	-	-
Morelia	21/01/2020	0	0.511	0.596	0.610	0.566	0.642	2.524	-	-	-	0.929	2.815	2.201
Petatlan	06/04/2020	0	-	-	-	0.252	0.481	0.455	0.147	0.234	0.367	0.996	1.886	1.664
Pinotepa	22/04/2019	0	0.298	0.625	0.814	0.279	0.516	0.448	0.144	0.220	0.263	1.727	2.681	3.555
San Marcos Gro	19/03/2021	0	-	-	-	0.270	0.902	0.918	0.190	0.361	0.425	1.318	2.202	2.819
Sismo Cd Hidalgo	01/02/2019	0	0.332	0.518	0.734	0.449	0.705	1.088	0.166	0.302	0.271	-	-	-
Sismo Huetamo	03/03/2019	0	1.798	3.397	2.902	1.007	1.214	1.203	0.735	0.769	0.746	-	-	-
Sismo Nva. Italia	16/06/2019	0	1.329	4.767	2.723	0.925	1.476	1.060	0.597	1.081	0.863	1.576	1.644	1.296
Pinotepa Nacional	16/02/2018	0	-	-	-	3.619	6.479	8.399	-	-	-	1.984	4.473	4.248
	19/02/2018	0	-	-	-	0.418	1.075	0.921	-	-	-	-	-	-
Acapulco Guerrero	07/09/2021	0	9.181	30.112	27.048	4.768	11.457	10.149	3.200	4.584	4.607	3.234	6.790	7.726

MEDICINA			PSICOLOGÍA			SAN NICOLAS			SCT			UVAQ			VETERINARIA		
COMP VERTICAL	COMP N-S	COMP E-W	COMP VERTICAL	COMP N-S	COMP E-W	COMP VERTICAL	COMP N-S	COMP E-W	COMP VERTICAL	COMP N-S	COMP E-W	COMP VERTICAL	COMP N-S	COMP E-W	COMP VERTICAL	COMP N-S	COMP E-W
0.404	0.740	0.710	0.547	1.065	1.177	1.318	0.534	0.456	-	-	-	0.538	0.422	0.446	0.307	0.415	0.375
0.166	0.323	0.459	0.235	0.482	0.517	-	-	-	0.170	0.221	0.172	-	-	-	-	-	-
2.173	5.304	5.348	1.730	4.436	3.153	2.078	7.623	3.168	2.997	4.647	3.981	1.764	3.242	5.155	1.085	3.585	2.786
0.327	0.502	0.487	0.374	1.091	1.744	0.293	0.846	0.805	0.207	0.175	0.195	0.374	0.487	0.607	0.289	0.776	0.422
1.039	2.691	1.905	0.574	1.961	2.693	0.755	0.491	0.558	-	-	-	0.280	0.592	0.519	1.077	1.359	1.595
0.378	0.597	0.579	0.359	0.930	1.338	-	-	-	0.173	0.228	0.321	0.208	0.380	0.483	0.241	0.514	0.505
0.323	1.687	0.775	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.352	0.986	0.805	1.151	2.956	2.440	0.390	0.520	0.552	0.195	0.519	0.451	0.308	0.553	0.516	0.237	0.542	0.377
0.219	0.843	0.681	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.211	1.076	1.187	1.552	1.722	1.895	1.244	0.945	0.913	1.074	0.511	0.687	1.091	0.851	0.999	0.774	1.073	0.902
1.510	1.510	1.476	1.080	1.760	2.192	0.897	1.372	1.029	0.867	1.021	0.639	0.741	1.165	1.490	0.646	0.967	0.785
2.172	5.476	5.738	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.057	5.494	3.711	-	-	-
0.389	0.802	0.636	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.201	0.754	0.534	-	-	-
5.000	11.862	10.227	5.239	10.196	10.491	4.860	7.603	6.691	3.931	7.037	5.588	3.992	6.406	11.617	3.413	8.830	6.357



La tabla 18 señala con color amarillo los sitios con la aceleración máxima del suelo de la componente N-S en cada evento y en anaranjado la aceleración mínima. La máxima aceleración de la componente E-W se señala con color verde y con color azul la aceleración mínima. El sitio donde más veces se registra la aceleración máxima del suelo, en las dos componentes horizontales, es la estación de la CMIC. Sin duda alguna el temblor del 7 de septiembre del 2021 representó las aceleraciones más grandes en los tres componentes que los otros temblores.



Aceleraciones Cuadrática Media en la Red Sísmica Nicolaita

Se muestra a continuación la tabla 19 donde se calcularon las aceleraciones cuadráticas medias de las componentes Norte-Sur y Este-Oeste, con la siguiente fórmula:

$$A_{CM} = \sqrt{0.5(A_{NS}^2 + A_{EW}^2)}$$

Dónde:

A_{CM} = Aceleración cuadrática media

A_{NS} = Aceleración máxima del suelo de la componente norte-sur de una estación.

A_{EW} = Aceleración máxima del suelo de la componente este-oeste de una estación.

La tabla 19 muestra los cálculos de la aceleración cuadrática media para cada estación y evento sísmico registrado.

Como ejemplo, de la tabla 18 se selecciona la estación CMIC del temblor de Acapulco, Guerrero. Las aceleraciones máximas del suelo en las direcciones NS y EW, y la aceleración cuadrática media es:

$$A_{CM} = \sqrt{0.5(30.112^2 + 27.048^2)} = 28.621$$

De igual manera, se calculan las aceleraciones cuadráticas mostradas en la tabla 19.

Tabla 19. Aceleración cuadrática media del suelo de la Red Sísmica Nicolaita.



TEMBLOR		CMC		CU		INIRENA		LUZ ALCOU		MEDICINA		PSICOLOGÍA		SAN NICOLAS		SCT		UVAQ		VETERINARIA	
LUGAR	FECHA	COMP N-S	COMP E-W	COMP N-S	COMP E-W	COMP N-S	COMP E-W	COMP N-S	COMP E-W	COMP N-S	COMP E-W	COMP N-S	COMP E-W	COMP N-S	COMP E-W	COMP N-S	COMP E-W	COMP N-S	COMP E-W	COMP N-S	COMP E-W
Cd. Altamirno	22/03/2019			0.522		0.231		-		0.725		1.122		0.497		-		0.434		0.396	
Coyuca d Benitez Gr	30/01/2020	0.536		0.458		0.211		-		0.397		0.500		-		0.198		-		-	
Crucecita Oxa	23/06/2020	-		5.792		5.520		3.809		5.326		3.849		5.837		4.327		4.306		3.210	
Guacamayas	12/02/2020	1.177		0.597		0.182		-		0.495		1.455		0.826		0.185		0.550		0.625	
Morelia	21/01/2020	0.603		1.842		-		2.527		2.331		2.356		0.526		-		0.557		1.482	
Petalan	06/04/2020	-		0.468		0.308		1.778		0.588		1.152		-		0.278		0.435		0.510	
Pinotepa	22/04/2019	0.726		0.483		0.242		3.148		1.313		-		-		-		-		-	
San Marcos Gro	19/03/2021	-		0.910		0.394		2.529		0.900		2.710		0.536		0.486		0.535		0.467	
Sismo Cd Hidalgo	01/02/2019	0.635		0.917		0.287		-		0.766		-		-		-		-		-	
Sismo Huetamo	03/03/2019	3.159		1.209		0.758		-		1.133		1.811		0.929		0.605		0.928		0.991	
Sismo Nva. Italia	16/06/2019	3.882		1.285		0.978		1.480		1.493		1.988		1.213		0.852		1.337		0.881	
Pinotepa Nacional	16/02/2018	-		7.501		-		4.362		5.609		-		-		-		4.688		-	
	19/02/2018	-		1.001		-		-		0.724		-		-		-		0.653		-	
Acapulco Guerrero	07/09/2021	28.621		10.823		4.595		7.273		11.075		10.345		7.161		6.354		9.380		7.693	

De igual manera con color anaranjado se muestran las aceleraciones máximas y de color amarillo las mínimas.

Posteriormente, se calculan los espectros de respuesta medios combinando con esta misma regla a las dos componentes horizontales (Norte-Sur y Este-Oeste). Se utilizan los espectros anteriormente presentados, obtenidos para periodos en el intervalo de 0 a 4 s, con un incremento de 0.02 s. Para ejemplificar lo anterior, la tabla 20 muestra el cálculo realizado para los espectros de respuesta de la estación de CU correspondiente al evento sísmico de Acapulco, Guerrero del 7 de septiembre de 2021 (figura 96).

Tabla 20. Espectros de aceleración cuadrática media (NS-EW) del temblor de Acapulco, Guerrero del 7 de septiembre de 2021, de la estación de CU.



aceleración cuadrática media (NS-EW)															
0	10.823	0.52	23.031	1.04	43.945	1.56	24.263	2.08	21.762	2.6	12.812	3.12	7.020	3.64	3.874
0.02	10.829	0.54	23.608	1.06	42.673	1.58	24.885	2.1	22.118	2.62	12.448	3.14	6.879	3.66	3.780
0.04	10.852	0.56	24.027	1.08	40.571	1.6	25.311	2.12	22.354	2.64	12.076	3.16	6.748	3.68	3.687
0.06	10.866	0.58	24.573	1.1	38.129	1.62	25.474	2.14	22.452	2.66	11.697	3.18	6.617	3.7	3.594
0.08	10.974	0.6	25.786	1.12	36.148	1.64	26.191	2.16	22.399	2.68	11.315	3.2	6.484	3.72	3.502
0.1	11.175	0.62	27.033	1.14	34.066	1.66	26.830	2.18	22.294	2.7	10.932	3.22	6.350	3.74	3.411
0.12	11.448	0.64	29.147	1.16	32.679	1.68	27.076	2.2	22.145	2.72	10.618	3.24	6.214	3.76	3.321
0.14	12.031	0.66	31.054	1.18	33.341	1.7	26.937	2.22	21.821	2.74	10.412	3.26	6.076	3.78	3.252
0.16	11.853	0.68	31.255	1.2	34.107	1.72	26.453	2.24	21.325	2.76	10.211	3.28	5.935	3.8	3.196
0.18	12.119	0.7	34.313	1.22	34.713	1.74	25.710	2.26	21.004	2.78	10.016	3.3	5.792	3.82	3.140
0.2	13.130	0.72	38.042	1.24	34.994	1.76	24.678	2.28	20.631	2.8	9.828	3.32	5.646	3.84	3.083
0.22	12.944	0.74	40.286	1.26	34.746	1.78	23.509	2.3	20.102	2.82	9.646	3.34	5.499	3.86	3.025
0.24	13.690	0.76	40.352	1.28	34.061	1.8	22.243	2.32	19.430	2.84	9.467	3.36	5.357	3.88	2.967
0.26	13.141	0.78	39.859	1.3	33.687	1.82	21.008	2.34	18.631	2.86	9.290	3.38	5.251	3.9	2.909
0.28	14.033	0.8	42.660	1.32	34.018	1.84	19.915	2.36	18.098	2.88	9.113	3.4	5.141	3.92	2.852
0.3	14.721	0.82	46.842	1.34	33.672	1.86	19.029	2.38	17.608	2.9	8.934	3.42	5.029	3.94	2.796
0.32	14.272	0.84	50.796	1.36	32.672	1.88	19.123	2.4	17.104	2.92	8.755	3.44	4.914	3.96	2.740
0.34	15.889	0.86	53.367	1.38	31.460	1.9	19.283	2.42	16.598	2.94	8.575	3.46	4.798	3.98	2.685
0.36	15.953	0.88	53.269	1.4	30.152	1.92	19.542	2.44	16.101	2.96	8.395	3.48	4.682	4	2.666
0.38	15.728	0.9	52.715	1.42	28.871	1.94	19.767	2.46	15.616	2.98	8.216	3.5	4.565		
0.4	16.504	0.92	50.786	1.44	27.693	1.96	19.936	2.48	15.144	3	8.038	3.52	4.448		
0.42	18.226	0.94	48.317	1.46	26.617	1.98	20.049	2.5	14.682	3.02	7.862	3.54	4.339		
0.44	18.947	0.96	47.035	1.48	25.631	2	20.110	2.52	14.226	3.04	7.688	3.56	4.247		
0.46	18.780	0.98	46.739	1.5	24.772	2.02	20.244	2.54	13.866	3.06	7.525	3.58	4.154		
0.48	19.994	1	46.154	1.52	24.148	2.04	20.794	2.56	13.520	3.08	7.355	3.6	4.061		
0.5	20.839	1.02	45.024	1.54	23.898	2.06	21.311	2.58	13.169	3.1	7.183	3.62	3.968		

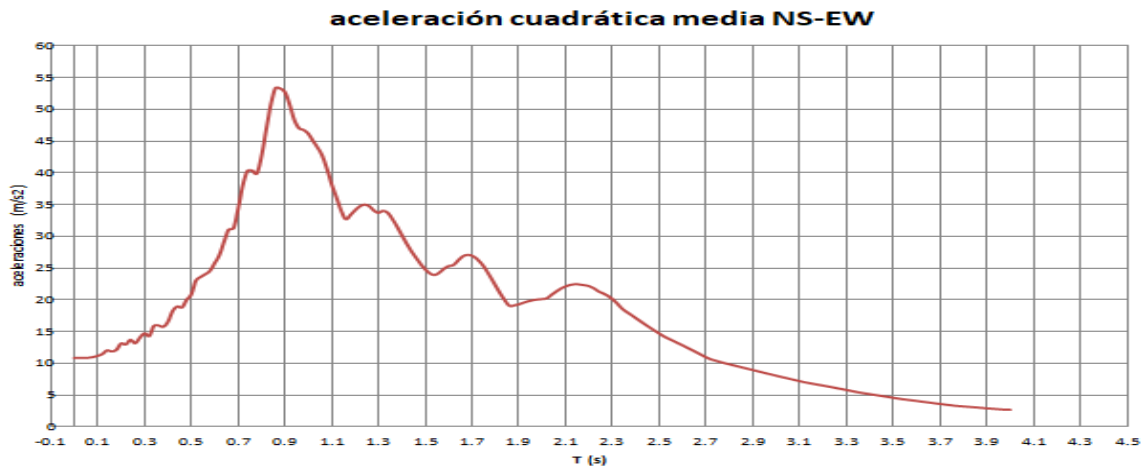


Figura 96. Espectro de aceleración cuadrática media (NS-EW) del temblor de Acapulco, Guerrero del 7 de septiembre de 2021, registrado en la estación de CU.

Este espectro muestra claramente que el periodo dominante del movimiento del suelo en este sitio es cercano a 0.9 s.

Una vez explicado cómo se obtiene un espectro de aceleración cuadrática media, a continuación se obtienen los espectros de todos los eventos registrados en las estaciones sísmicas.



- Aceleración cuadrática media NS-EW del temblor 22 de marzo del 2019

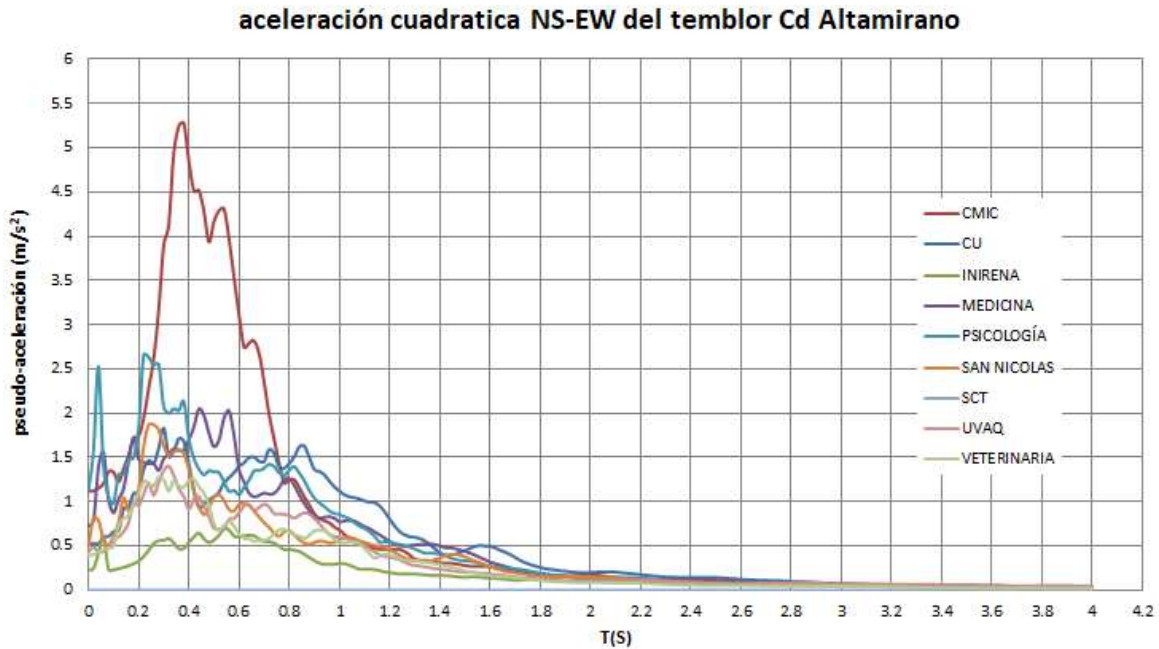


Figura 97. Espectros de aceleración cuadrática media del temblor Cd Altamirano, Gro.

- Aceleración cuadrática media NS-EW del temblor 30 de enero del 2020

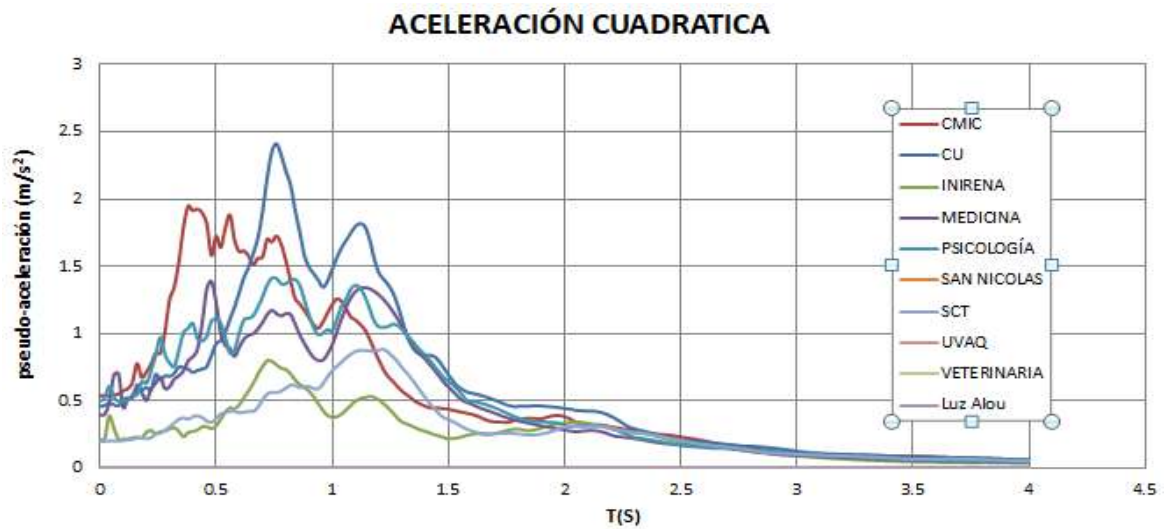


Figura 98. Espectros de aceleración cuadrática media del temblor Coyuca de Benítez.



- Aceleración cuadrática media NS-EW del temblor 23 de junio del 2020

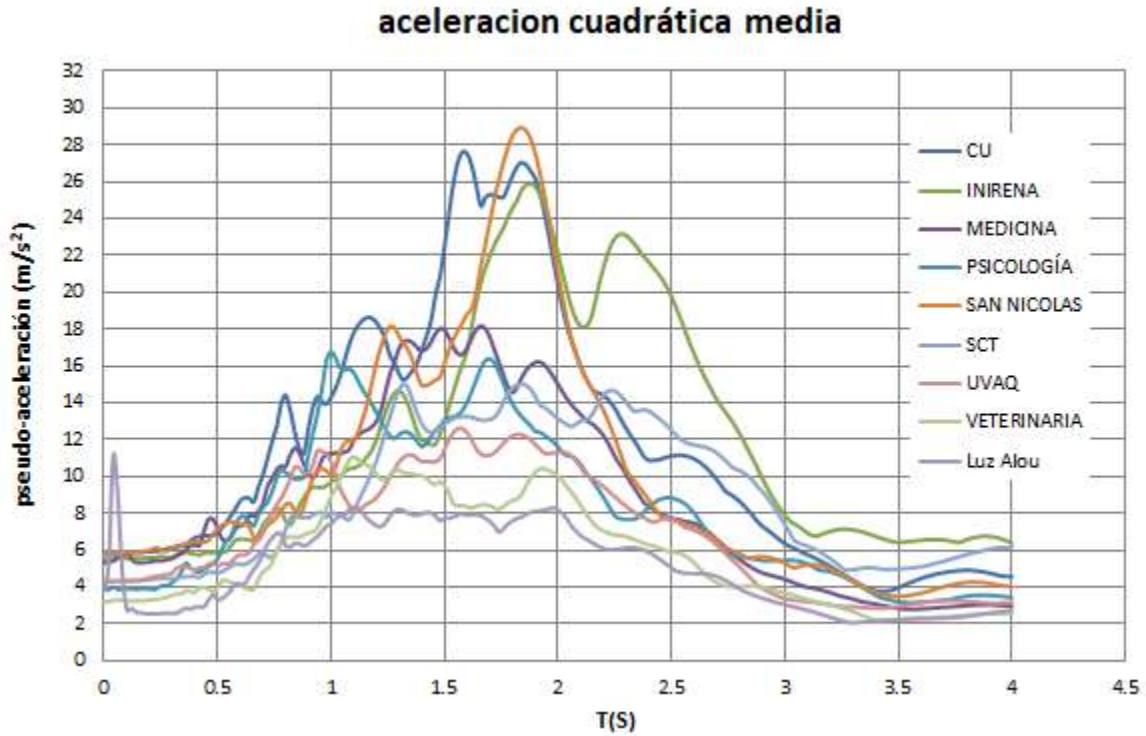


Figura 99. Espectros de aceleración cuadrática media del temblor Crucecita Oaxaca.

- Aceleración cuadrática media NS-EW del temblor 12 de febrero del 2020

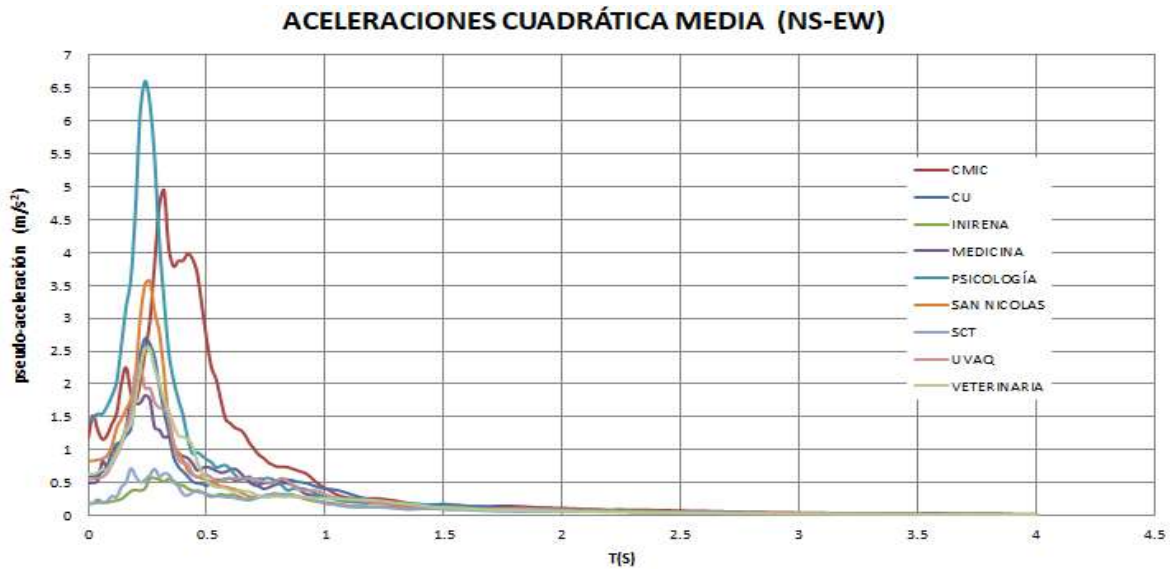




Figura 100. Espectros de aceleración cuadrática media del temblor Guacamayas, Mich.

- Aceleración cuadrática media NS-EW del temblor 21 de enero.

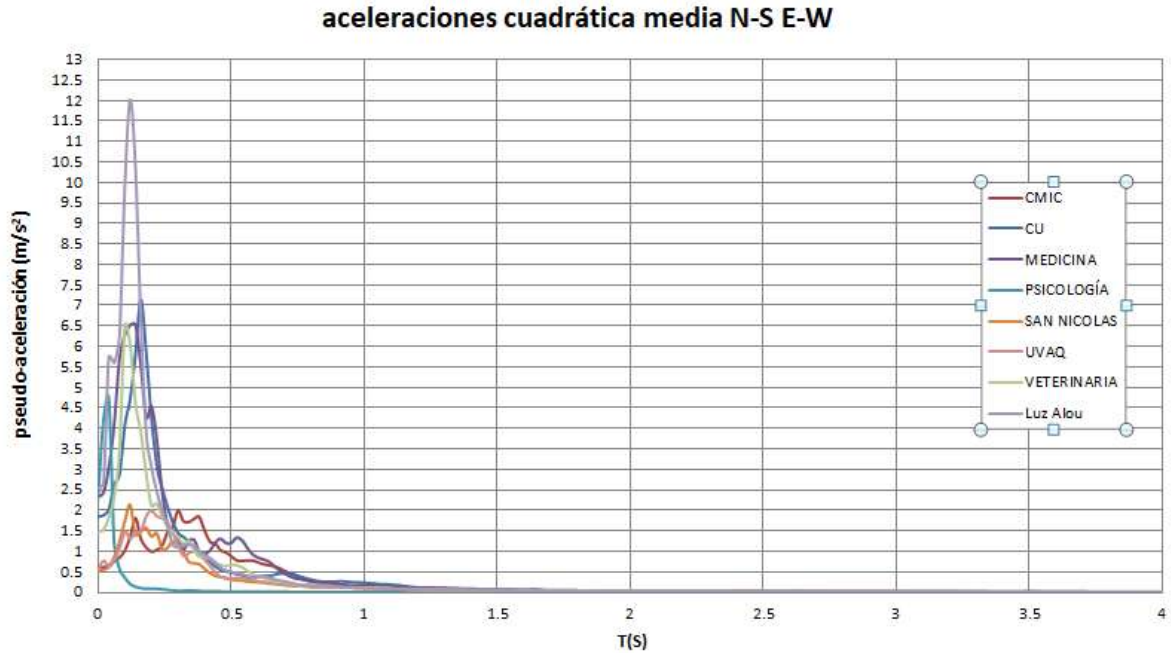


Figura 101. Espectros de aceleración cuadrática media del temblor Morelia Mich.

- Aceleración cuadrática media NS-EW del temblor 06 de abril del 2020

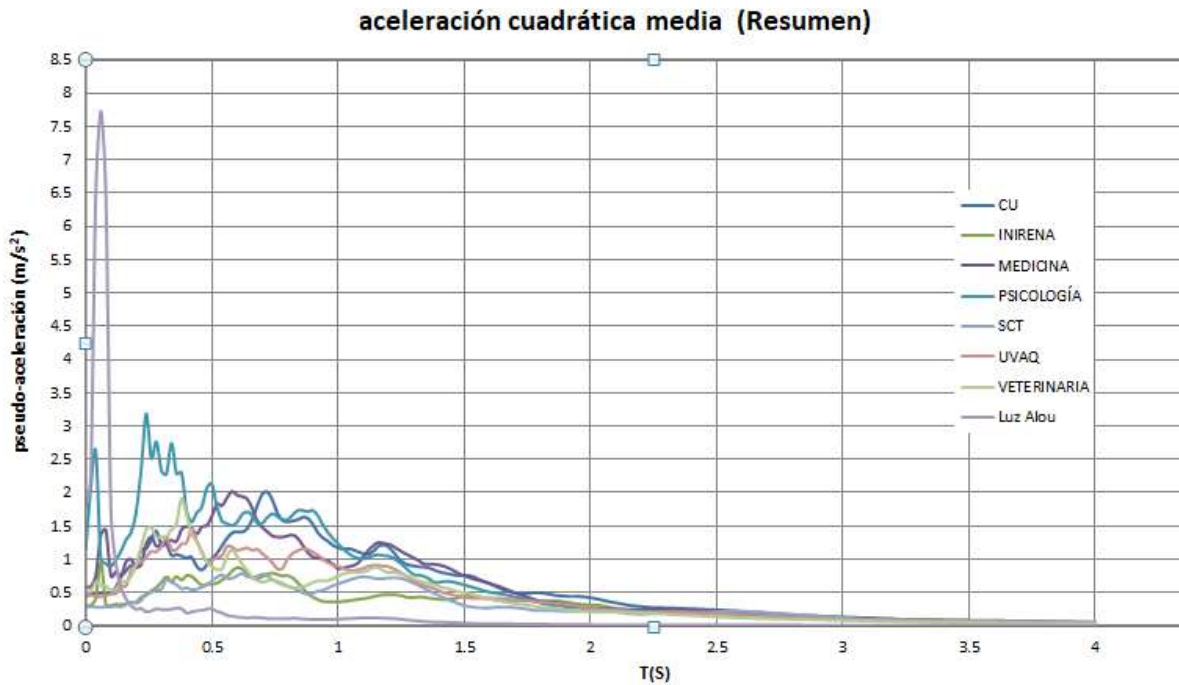




Figura 102. Espectros de aceleración cuadrática media del temblor Papatlan Morelia.

- Aceleración cuadrática media NS-EW del temblor 22 de abril del 2019

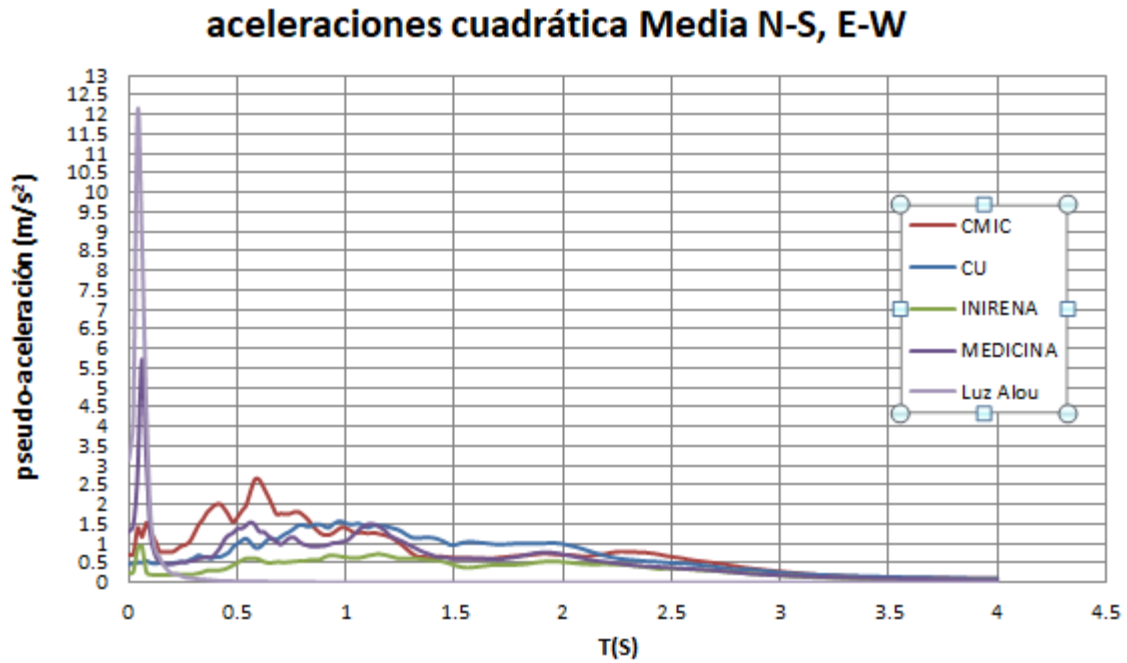


Figura 103. Espectros de aceleración cuadrática media del temblor Pinotepa Na. Oaxaca.

- Aceleración cuadrática media NS-EW del temblor 19 de marzo del 2021



aceleración cuadrática media N-S, E-W

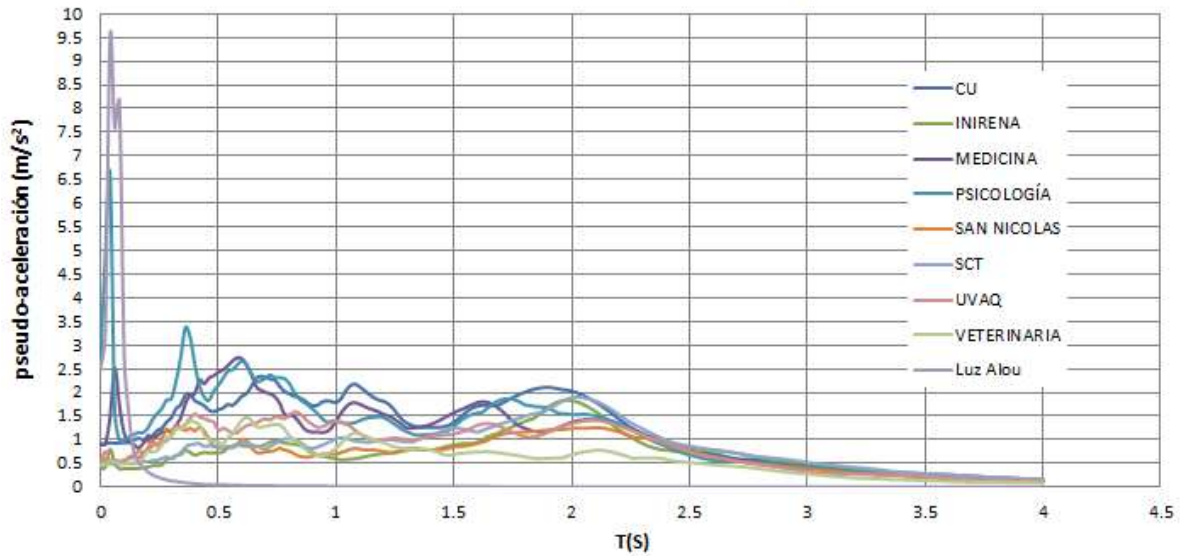


Figura 104. Espectros de aceleración cuadrática media del temblor San Marcos Gro.

- Aceleración cuadrática media NS-EW del temblor 1 de febrero del 2019

aceleraciones cuadrática N-S, E-W

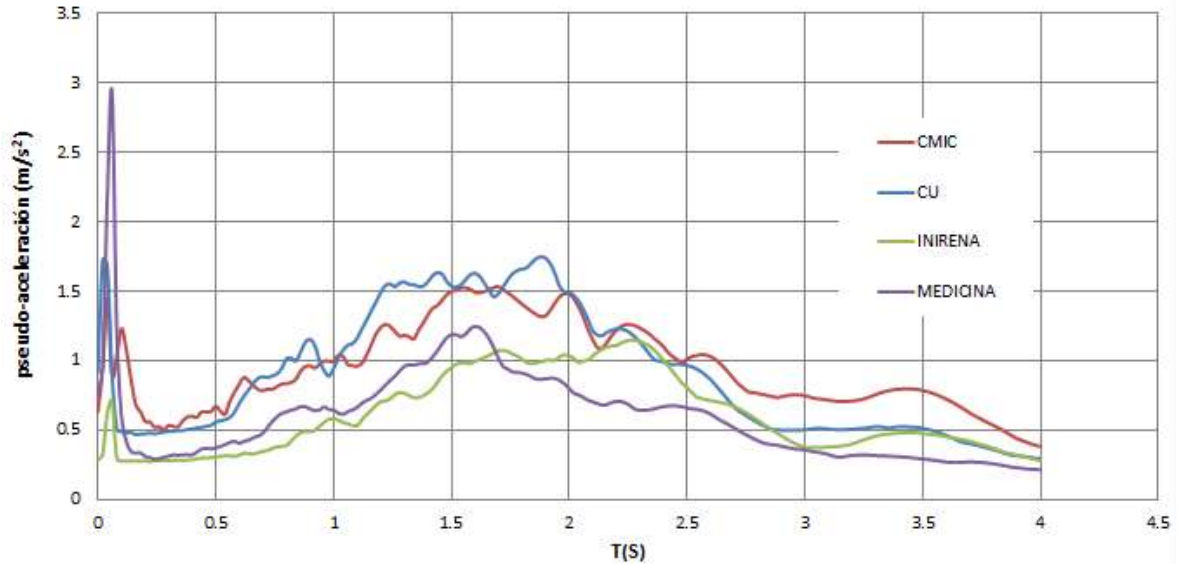


Figura 105. Espectros de aceleración cuadrática media del temblor Cd de Hidalgo Chiapas.

- Aceleración cuadrática media NS-EW del temblor 3 de marzo del 2019

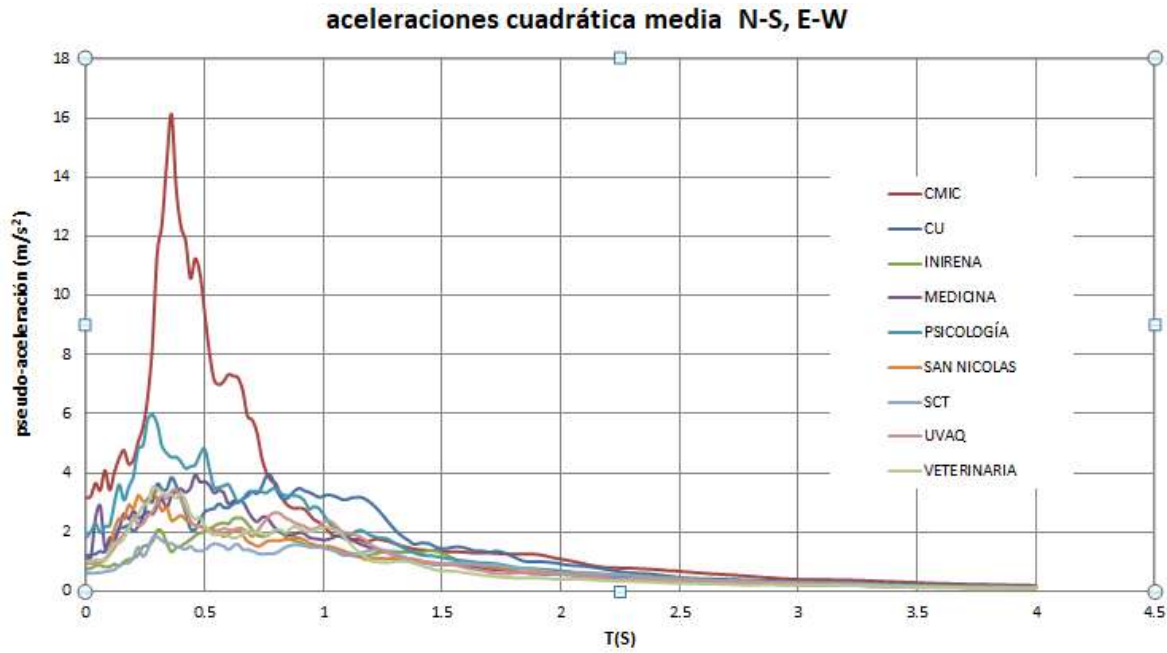


Figura 106. Espectros de aceleración cuadrática media del temblor Huetamo Michoacán.

- Aceleración cuadrática media NS-EW del temblor 16 de junio del 2019

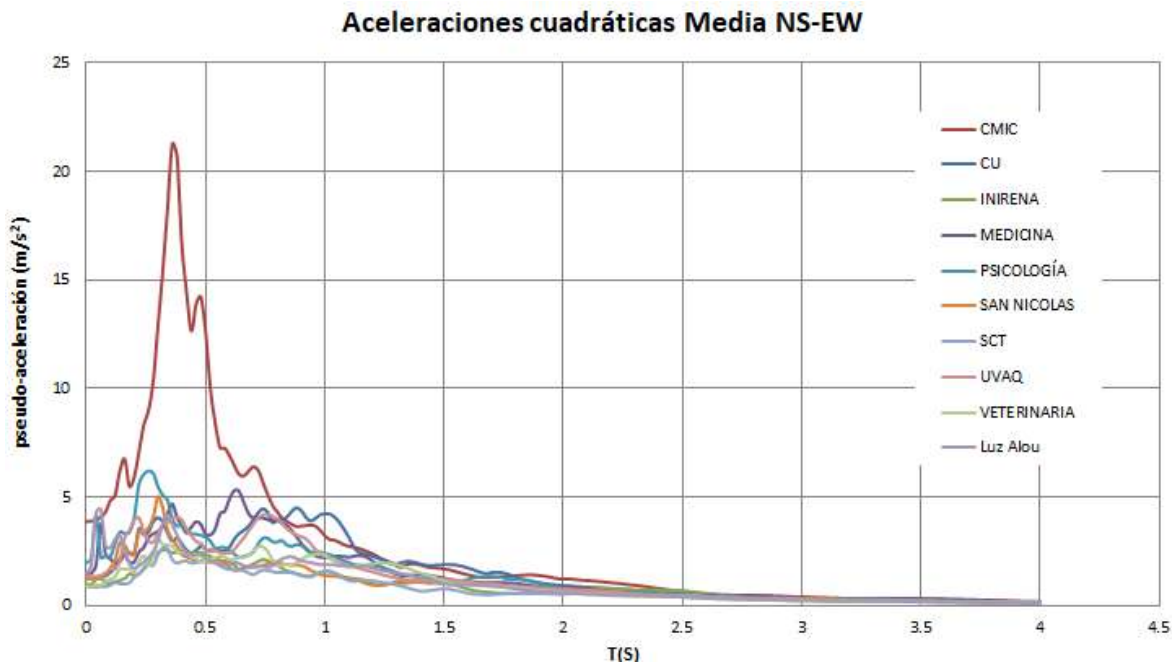


Figura 107. Espectros de aceleración cuadrática media del temblor Nueva Italia Michoacán.



- Aceleración cuadrática media NS-EW del temblor 16 de febrero del 2019

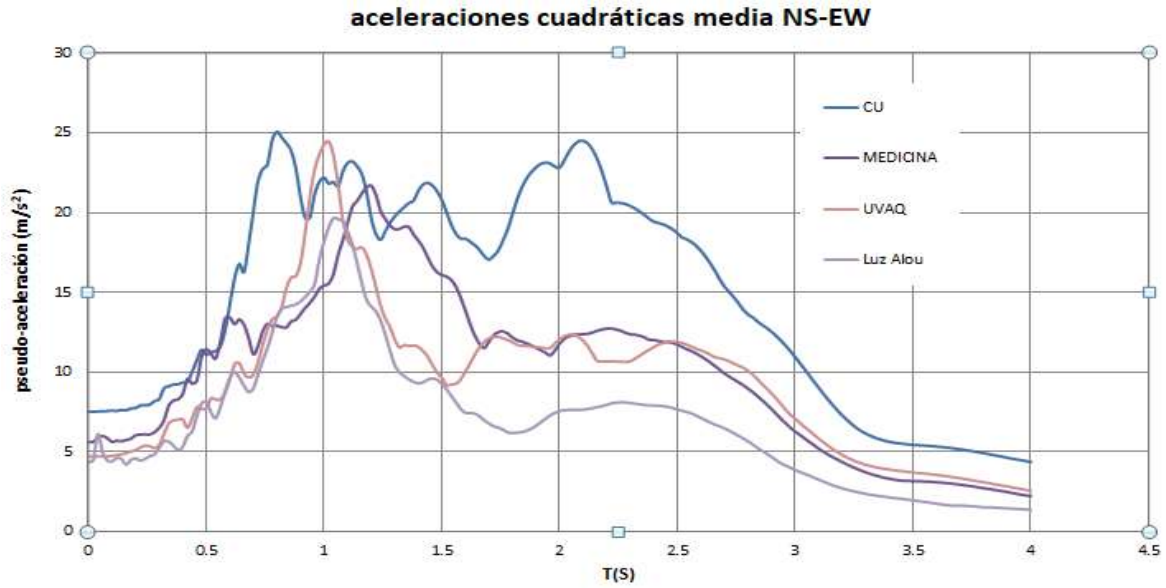


Figura 108. Espectros de aceleración cuadrática media del temblor Pinotepa Na. Oaxaca.

- Aceleración cuadrática media NS-EW del temblor 19 de febrero del 2019

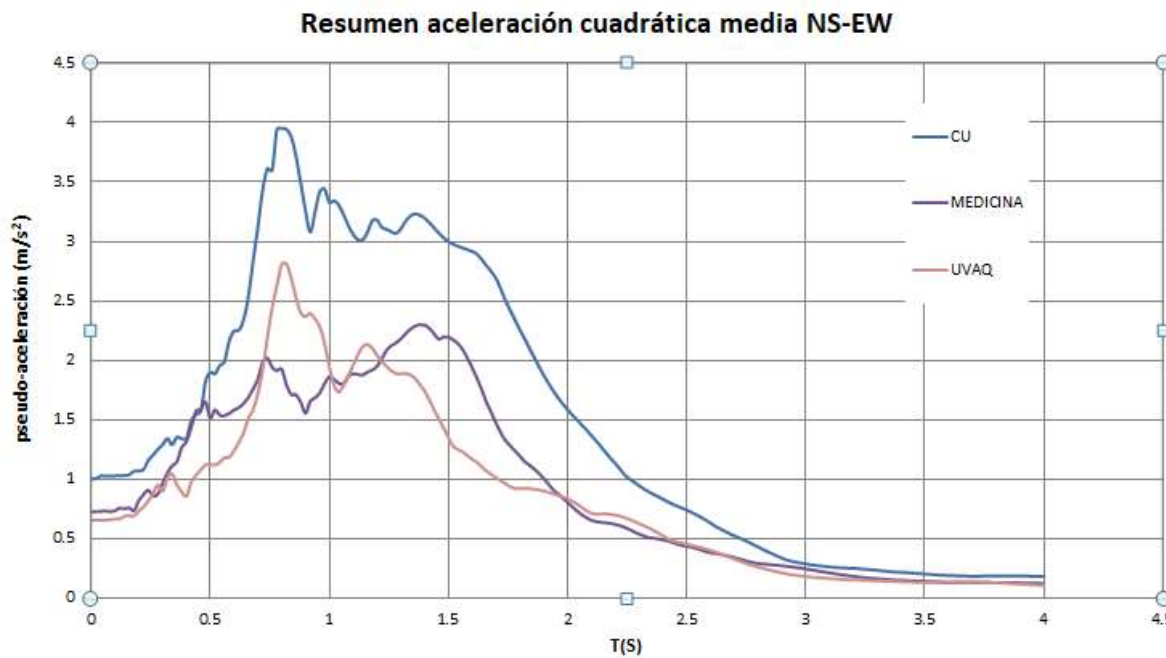




Figura 109. Aceleraciones cuadrática media del temblor Pinotepa Na. Oaxaca.

- Espectros de aceleración cuadrática media NS-EW del temblor 7 de septiembre del 2021

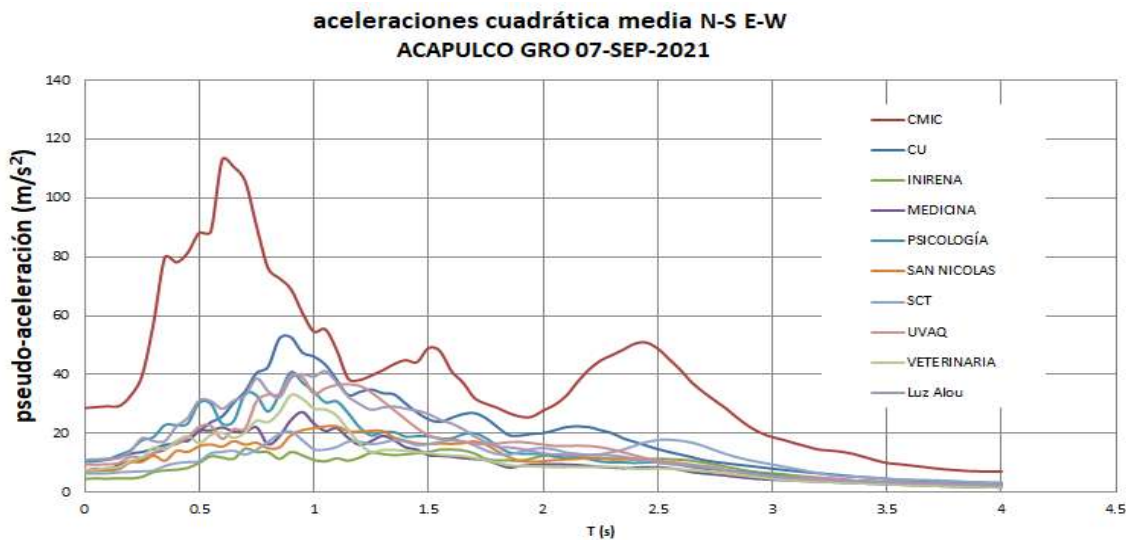


Figura 110. Aceleraciones cuadrática media del temblor Acapulco Gro.

Coefficientes espectrales de la aceleración cuadrática media

Desde hace algunos años se ha utilizado la técnica de los cocientes espectrales con el fin de estimar el espectro de respuesta de futuros eventos sísmicos. El coeficiente espectral es la relación entre un espectro de zona blanda y uno de zona firme, representa una estimación de la intensidad espectral en terreno blando respecto a la del terreno firme. La tabla 18 (aceleraciones máximas y mínimas del suelo) nos permitieron identificar con más claridad las zonas que representan las aceleraciones máximas y mínimas del suelo de los 15 temblores ya mencionados anteriormente. En este caso la estación de INIRENA contiene un mayor número de aceleraciones mínimas en la mayoría de los eventos. También la tabla 19 (aceleraciones máximas y mínimas de cuadrática media NS-EW) corrobora que la estación de INIRENA registra el mayor número de veces la aceleración mínima de un evento. Por ello, se utiliza la estación de INIRENA como estación base para calcular los cocientes espectrales.



De esta manera, se dividen las ordenadas espectrales de cada estación entre las ordenadas espectrales de la estación de INIRENA. Para ejemplificar como se obtiene, se seleccionan las aceleraciones cuadráticas medias de la estación CMIC, del temblor de 7 de septiembre de 2021 y las de la estación INIRENA, como se muestra en la tabla 21:

Tabla 21: Cocientes espectrales de aceleración cuadrática media

	CMIC		INIRENA		
	aceleración cuadrática media (NS-EW)		aceleración cuadrática media (NS-EW)		
0	28.621155	÷	4.595434002	=	6.22817
0.02	28.654678	÷	4.599973201	=	6.22931
0.04	28.846189	÷	4.631262622	=	6.22858
0.06	29.042252	÷	4.702561816	=	6.17584
0.08	28.899266	÷	4.601763883	=	6.28004
0.1	29.227227	÷	4.631740454	=	6.31020
0.12	30.099889	÷	4.708410763	=	6.39279
0.14	30.458905	÷	4.760992673	=	6.39760
0.16	30.129763	÷	4.704446908	=	6.40453
0.18	30.357695	÷	4.684749011	=	6.48011
0.2	30.702103				

Esto mismo se repite para los 15 temblores registrados en la Red Sísmica Nicolaita. Las figuras 111-124 muestran los cocientes espectrales de cada estación y evento sísmico.

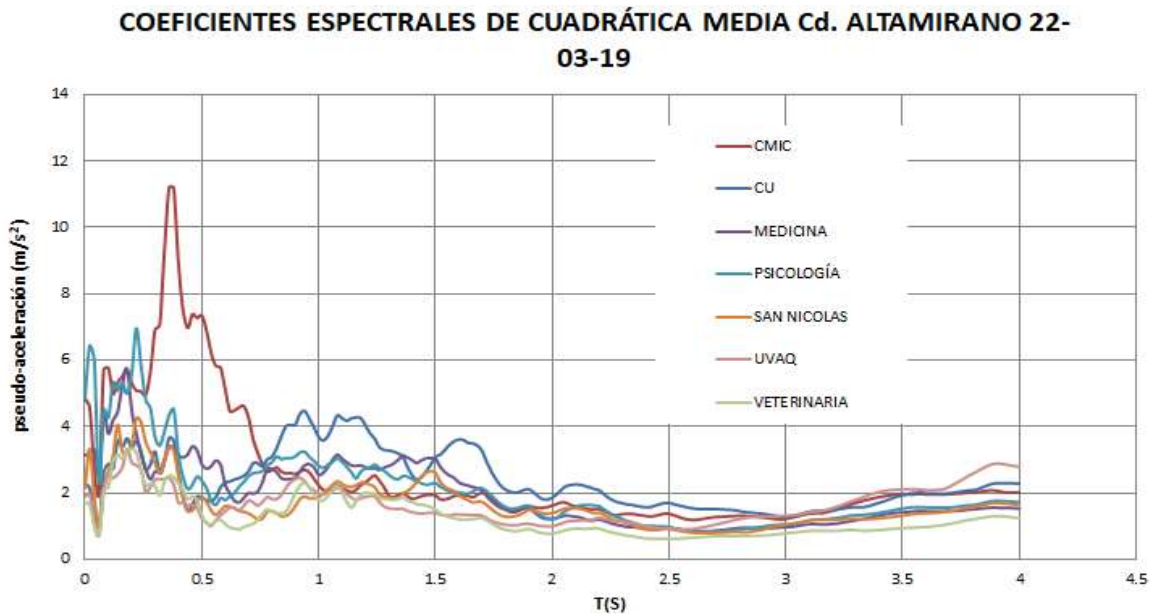


Figura 111. Coeficientes espectrales del temblor Cd Altamirano, Gro.



COEFICIENTES ESPECTRALES DE CUADRÁTICA MEDIA COYUCA DE BENITES
GRO 30-01-20

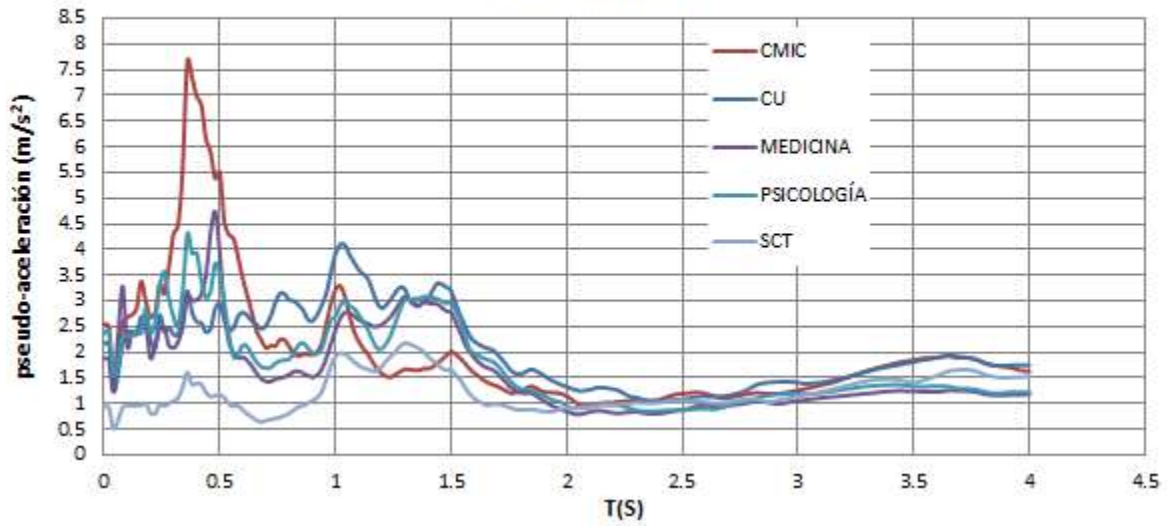


Figura 112. Coeficientes espectrales del temblor Coyuca de Benítez.

COEFICIENTES ESPECTRALES DE CUADRÁTICA MEDIA CRUCECITA
OAX 23-06-20

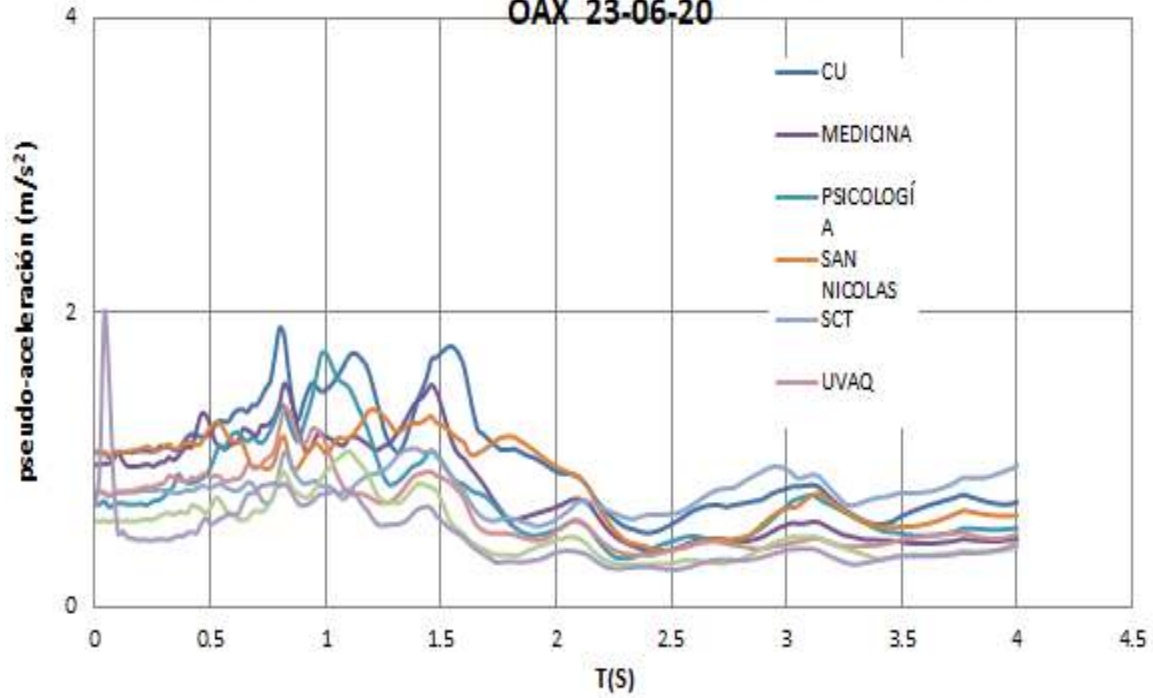


Figura 113. Coeficientes espectrales del temblor Crucecita Oaxaca.



COCIENTES ESPECTRALES DE Acuadrática media Guacamayas 12-02-20

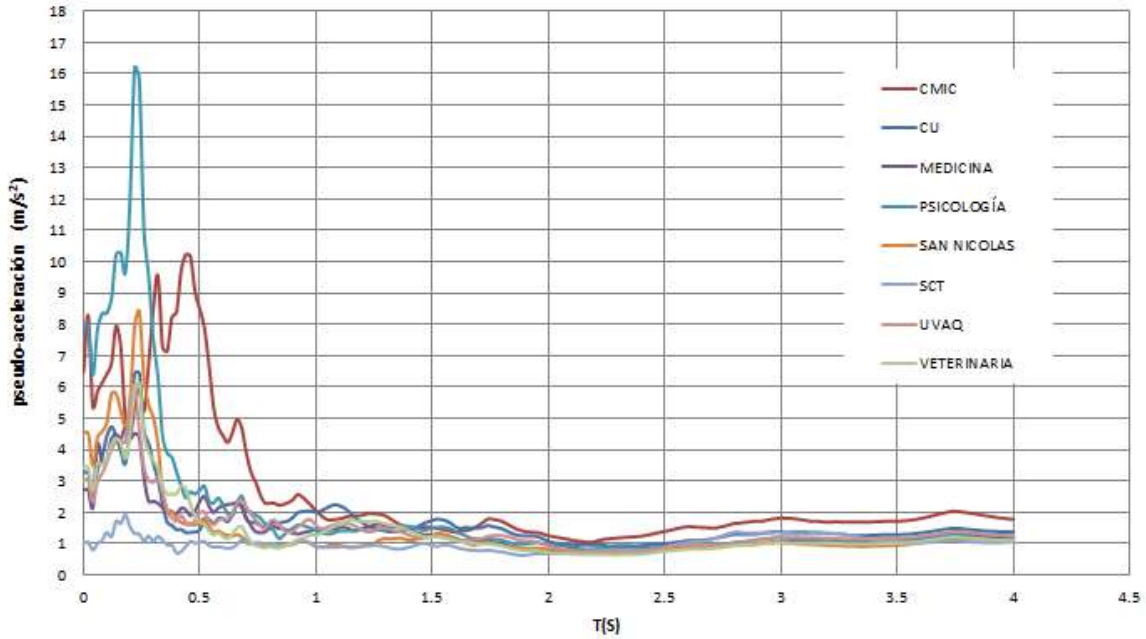


Figura 114. Coeficientes espectrales del temblor Guacamayas, Michoacán.

COEFICIENTES ESPECTRALES DE CUADRÁTICA MEDIA PETATLAN 06-04-20

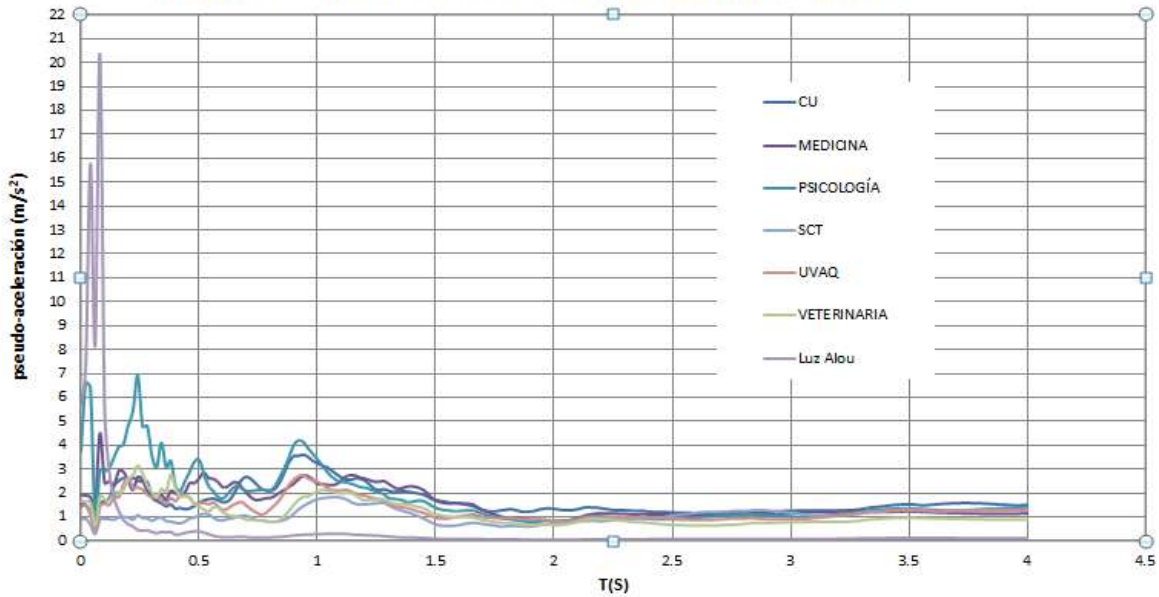


Figura 116. Coeficientes espectrales del temblor Papatlan Morelia.



COEFICIENTES ESPECTRALES DE CUADRÁTICA MEDIA PINOTEPA 22-04-19

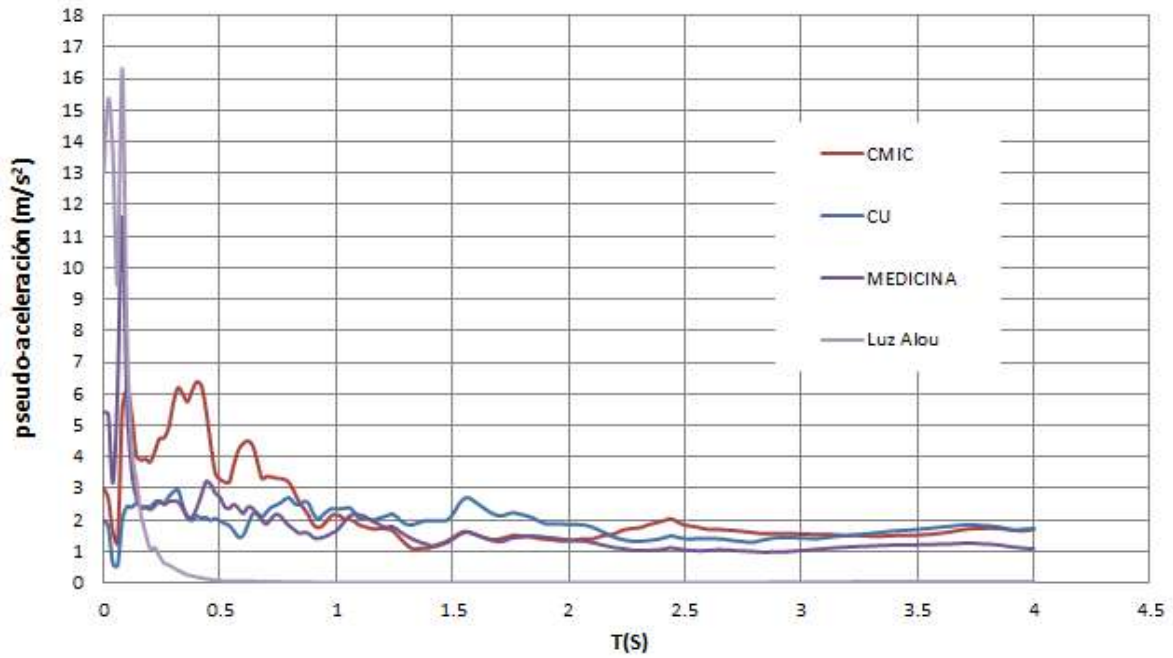


Figura 117. Coeficientes espectrales del temblor Pinotepa Nacional Oaxaca.

COEFICIENTES ESPECTRALES DE CUADRÁTICA MEDIA SAN MARCOS GRO 19-03-21

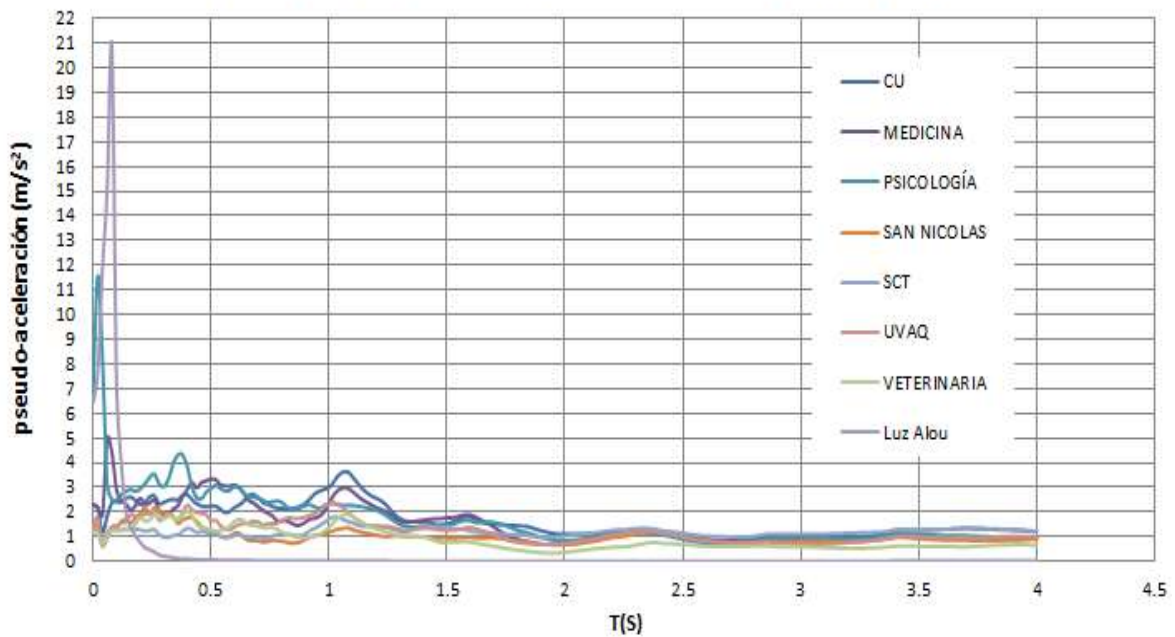


Figura 118. Coeficientes espectrales del temblor San Marcos Gro.



COEFICIENTES ESPECTRALES DE CUADRÁTICA MEDIA CD HIDALGO 01-02-19

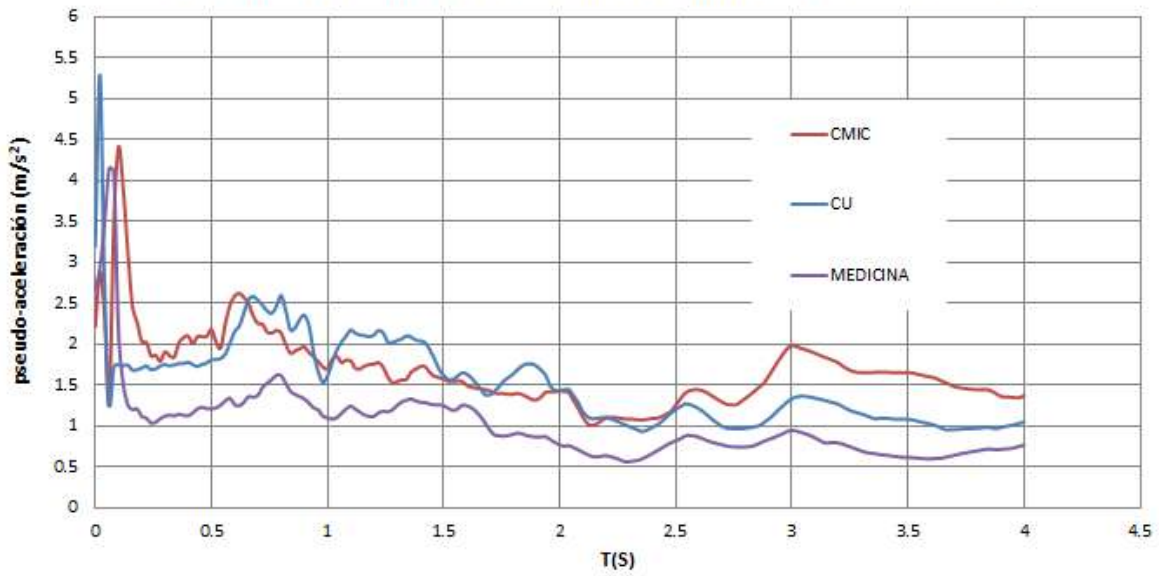


Figura 119. Coeficientes espectrales del temblor Cd de Hidalgo Chiapas.

COEFICIENTES ESPECTRALES DE CUADRÁTICA MEDIA HUETAMO 03-03-2019

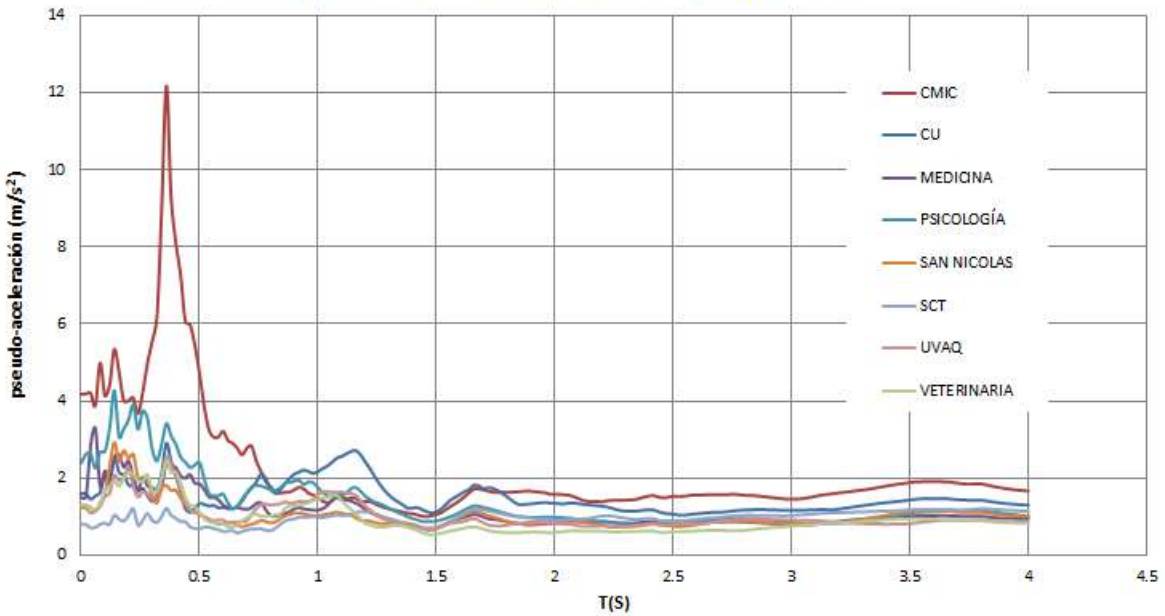


Figura 120. Coeficientes espectrales del temblor Huetamo Michoacán.



COEFICIENTES ESPECTRALES DE CUADRÁTICA MEDIA NVA. ITALIA 16-06-2019

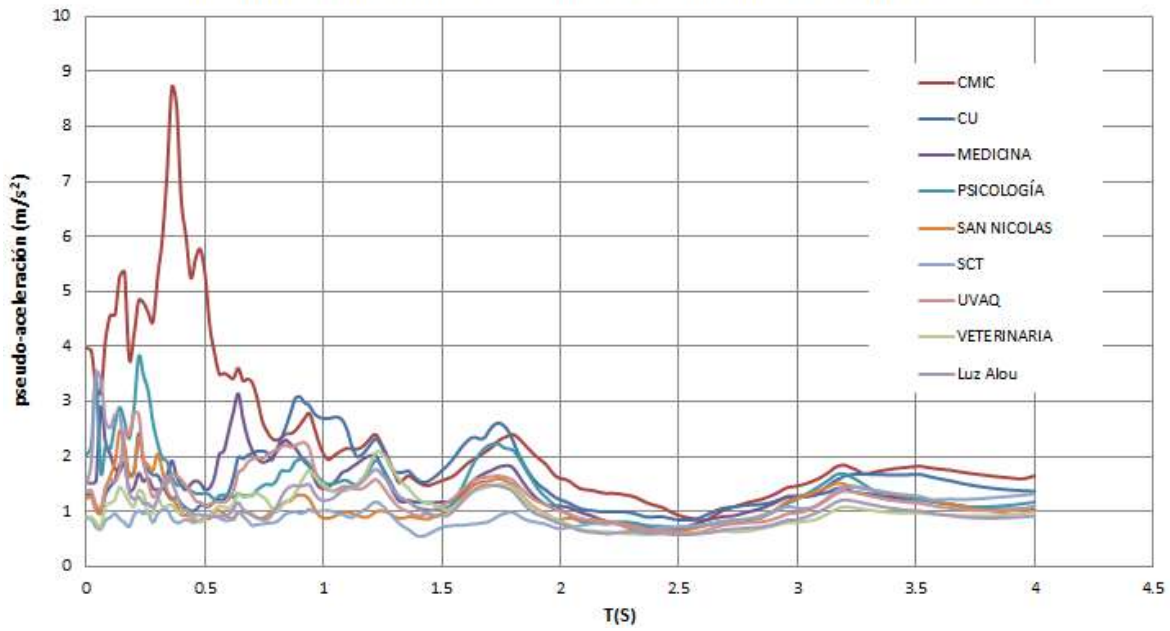


Figura 121. Coeficientes espectrales del temblor Nueva Italia Michoacán.

COEFICIENTES ESPECTRALES DE CUADRÁTICA MEDIA ACAPULCO GRO 07-SEP-2021

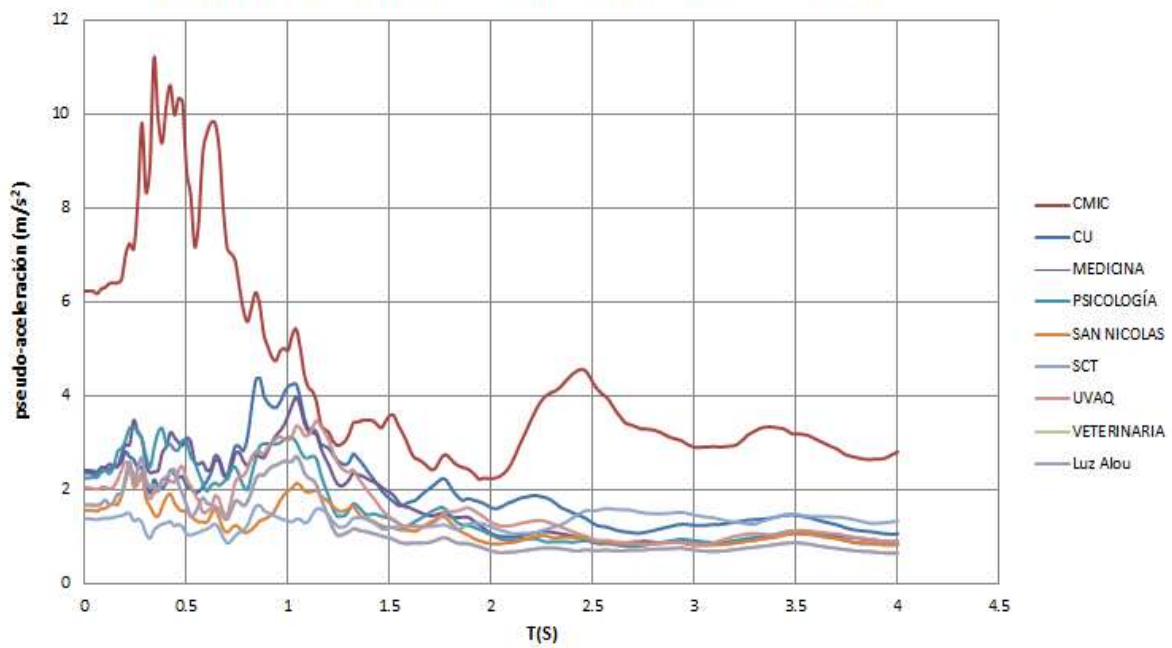




Figura 124 Coeficientes espectrales del temblor Acapulco Gro.

Cabe señalar que tres de los 15 temblores no se registraron en la estación de INIRENA. El primero del temblor del 21 de enero del 2020 con epicentro Morelia, y los otros dos correspondientes a los eventos de Pinotepa Nacional de Oaxaca del 16 de febrero del 2018 y 19 de febrero del mismo año.

Valor medio de cocientes espectrales en Morelia

Se calcula también el promedio de coeficientes espectrales de los 15 temblores, que permite identificar, con mayor significado estadístico, las amplificaciones del sitio respecto al movimiento registrado en la estación de INIRENA. En este caso, como ejemplo (tabla 22), se seleccionan todos los registros de coeficientes espectrales en la estación de CU y con base en ello se hace el promedio que se muestra.

Tabla 22. Ejemplo para obtener el promedio de los coeficientes espectrales de todos los temblores registrados en la Red Sísmica Nicolaita.

CU/INIRENA												PROMEDIO
T(S)	Cd. Altamirano	Coyuca de Benites	Crucecita Oax	Guacamayas	Petatlan	Pinotepa	San Marcos Gro	Cd. Hidalgo	Huetamo	Nva Italia	Acapulco	
0	2.25848206	2.17211036	1.04911925	3.2840914	1.52126043	1.99291482	2.30778116	3.19520887	1.59521951	1.31373269	2.35507278	2.09499939
0.02	2.1485873	2.17022555	1.04909029	3.25930142	1.50892239	1.76836555	2.17344003	5.28650653	1.59168375	1.29562352	2.35422427	2.23690642
0.04	1.24561299	1.24466929	1.04688604	2.53774764	1.16756743	0.5943208	1.17376815	2.71255117	1.45019261	1.10316211	2.34315755	1.51087598
0.06	0.99025861	1.5762583	1.01699741	3.35623672	0.52358451	0.55383436	1.83931975	1.27679057	1.53940319	1.03464803	2.3106124	1.45617671
0.08	2.60034971	2.16273951	1.04252288	3.77326682	1.55500639	2.01442024	2.38623586	1.72616776	1.62695689	1.31156483	2.38469751	2.0530844
0.1	2.87077374	2.36860181	1.05065039	4.41981449	1.65044178	2.41719135	2.40754392	1.75001346	2.09256023	1.45796448	2.41265782	2.26347395
0.12	2.73003762	2.41104951	1.05302996	4.73409098	1.78421694	2.391245	2.42011157	1.73918592	1.85113253	1.57505953	2.43143333	2.28369026
0.14	3.56898423	2.35698986	1.05397663	4.4381756	2.30404881	2.52698612	2.55338605	1.74559586	2.51858456	1.85208656	2.5270343	2.49507714
0.16	3.38611487	2.69018934	1.04960603	3.95920486	2.51133578	2.40905006	2.61090215	1.68118476	2.14666646	1.88479991	2.51963142	2.4407896
0.18	3.64326851	2.57777981	1.05885522	3.56227823	2.6233576	2.4124498	2.4757787	1.68877655	2.0713401	1.67758943	2.58682944	2.39802758
0.2	3.36453923	2.25993321	1.05934238	4.78830286	2.505901	2.40861832	2.31290394	1.70934062	1.82203237	1.71662775	2.80763741	2.43228901
0.22	3.57993541	2.0701179	1.06357876	6.43511604	2.64048162	2.56043452	2.37789567	1.73459157	1.77829503	2.42002771	2.69860424	2.66900713
0.24	3.24457781	2.71796029	1.05521636	6.44906669	2.52447368	2.60794784	2.62628986	1.68987852	1.65248367	1.89321461	2.64032073	2.64558455
0.26	2.70741525	2.41011731	1.06269898	4.5988806	2.46956813	2.5196795	2.65840858	1.6999624	2.0210857	1.75026909	2.45436819	2.39567761
0.28	2.86117419	2.48134537	1.09229368	4.20628206	2.47732659	2.74136937	2.34791711	1.73675897	1.79644277	1.6664657	2.47575328	2.35301174
0.3	3.24860955	2.34679708	1.08658245	3.56324382	1.83959993	2.88927217	2.39245442	1.75212245	1.7582905	1.65655548	2.1392875	2.24298321
0.32	2.59273684	2.34366504	1.08966157	3.06650384	1.66691893	2.94451355	2.47975075	1.73869654	1.71539699	1.49822572	1.92722666	2.09666331
0.34	2.94014593	2.76320125	1.06764126	2.25912477	1.57668782	2.45560405	2.51830986	1.74526037	2.12234582	1.31749496	2.21332612	2.08901293
0.36	3.66303531	3.19388308	1.06573939	1.70019617	1.44799607	2.05715385	2.49596874	1.76715794	2.90345836	2.12858694	2.0695333	2.14388265
0.38	3.55832641	2.78418152	1.11336554	1.58701379	1.52444621	1.98493905	2.68560287	1.76300052	2.43063102	1.26227051	2.03720061	2.06645255
0.4	2.63999403	2.59492348	1.15555988	1.45039043	1.3495138	2.1266743	2.70480948	1.78098658	2.06573966	1.138828	2.15051163	1.9234483

El cálculo se hace en el intervalo de periodos de 0 (aceleración del terreno) a 4 segundos. Esto mismo se repite en las demás estaciones y el resultado se muestra en la figura 125 donde se observan los sitios con mayor amplificación del



suelo en Morelia. Particularmente, la estación de Luz Alou presenta los cocientes más altos, seguida de la estación CMIC y por último de la estación de Psicología. Se puede decir que las tres estaciones mencionadas representar los cocientes más altos.

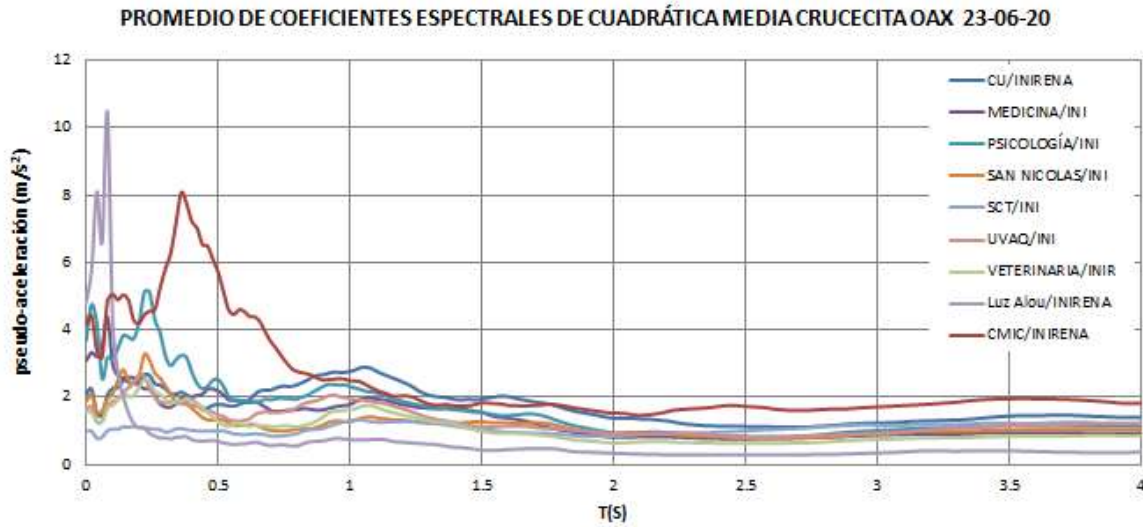


Figura 125. Promedio de coeficientes espectrales de todos los eventos sísmicos de la Aceleración Cuadrática Media

Para observar mejor las amplificaciones entre 0 y 1 s, la figura 126 presenta la figura 125 hasta T=1 s.

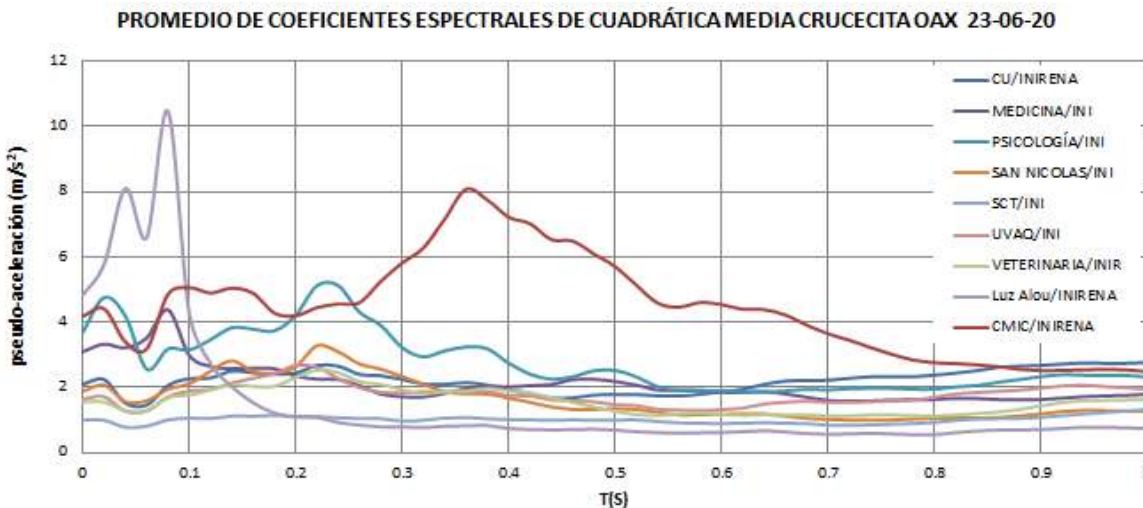


Figura 126. Promedio de cocientes espectrales con periodo hasta 1 segundo.

La única estación con aceleraciones espectrales similares a la estación de INIRENA (cocientes cercanos a la unidad) es la estación de SCT.



Cocientes de la espectral máxima

Por último, la tabla 23 muestra los cocientes de la pseudo-aceleración máxima ($S_{a_{max}}$) entre la aceleración máxima del suelo (A_{max}) de cada estación para cada evento sísmico. Estos cocientes corresponden a la aceleración cuadrática media en todos los casos.

Tabla 23. Cálculo de los cocientes espectrales $S_{a_{max}}/A_{max}$.

Temblor	Fecha	cmic			cu			inirena			luz alou			Medicina		
		Amax	Sa max	Cociente	Amax	Sa max	Cociente	Amax	Sa max	Cociente	Amax	Sa max	Cociente	Amax	Sa max	Cociente
Cd. Altamirno	22/03/2019	1.11785	5.2762	4.7199	0.5220	1.8310	3.5077	0.2311	0.6933	2.9994				0.7252	2.0496	2.8265
Coyuca d Benitez Gro	30/01/2020	0.53650	1.9464	3.6280	0.4582	2.4130	5.2661	0.2110	0.7989	3.7870				0.3969	1.3898	3.5020
Crucecita Oxa	23/06/2020				5.7915	27.6228	4.7695				3.8091	11.0953	2.9128	5.3259	18.1783	3.4132
Guacamayas	12/02/2020	1.17721	4.9402	4.1965	0.5969	2.6901	4.5068	0.1818	0.5693	3.1321				0.4946	1.8282	3.6967
Morelia	21/01/2020	0.60304	1.9941	3.3068	1.8416	7.1425	3.8785				2.5267	12.0118	4.7539	2.3314	6.5315	2.8016
Petatlan	06/04/2020				0.4682	2.0112	4.2956	0.3078	0.9463	3.0747	1.7785	7.7297	4.3463	0.5881	2.0196	3.4342
Pinotepa	22/04/2019	0.72564	2.6447	3.6446	0.4832	1.5684	3.2459	0.2425	0.9277	3.8264	3.1485	12.0386	3.8236	1.3126	5.7329	4.3674
San Marcos Gro	19/03/2021				0.9100	2.3422	2.5738	0.3943	1.8368	4.6581	2.5294	9.5031	3.7571	0.9001	2.7341	3.0377
Sismo Cd Hidalgo	01/02/2019	0.63522	1.5340	2.4149	0.9168	1.7503	1.9092	0.2869	1.1496	4.0067				0.7663	2.9353	3.8305
Sismo Huetamo	03/03/2019	3.15921	16.1225	5.1033	1.2085	3.8978	3.2253	0.7576	2.4841	3.2789				1.1329	3.9301	3.4692
Sismo Nva. Italia	16/06/2019	3.88194	21.2732	5.4800	1.2850	4.5119	3.5113	0.9781	2.5816	2.6394	1.4803	4.4542	3.0090	1.4931	5.3119	3.5576
Pinotepa Nacioanal	16/02/2018				7.5007	25.0660	3.3418				4.3622	19.6512	4.5049	5.6085	21.6847	3.8664
	19/02/2018				1.0011	3.9511	3.9469							0.7235	2.3004	3.1794
Acapulco Gro	07/09/2021	28.62115	113.1115	3.9520	10.8226	53.3671	4.9311	4.5954	14.8194	3.2248	7.2732	27.2765	3.7503	11.0750	41.1663	3.7170
promedio				4.0496			3.7792			3.4628			3.8572			3.4785

Medicina			Psicología			San Nicolas			SCT			UVAQ			VETERINARIA		
Amax	Sa max	Cociente	Amax	Sa max	Cociente	Amax	Sa max	Cociente	Amax	Sa max	Cociente	Amax	Sa max	Cociente	Amax	Sa max	Cociente
0.7252	2.0496	2.8265	0.5128	2.6594	5.1864	0.4965	1.8698	3.7658				0.4341	1.4040	3.2342	0.3070	1.2807	4.1719
0.3969	1.3898	3.5020	0.4998	1.4235	2.8481				0.1980	0.8838	4.4632						
5.3259	18.1783	3.4132	3.8486	16.7622	4.3554	5.8372	28.9401	4.9579	4.3269	15.0399	3.4759	4.3061	12.5999	2.9261	3.2103	11.0796	3.4512
0.4946	1.8282	3.6967	1.4546	6.6048	4.5406	0.8257	3.5689	4.3220	0.1853	0.7145	3.8566	0.5503	2.2941	4.1690	0.6246	2.5454	4.0752
2.3314	6.5315	2.8016	2.3556	4.7331	2.0093	0.5256	2.1360	4.0642				0.5567	1.9934	3.5808	1.4817	6.4989	4.3861
0.5881	2.0196	3.4342	1.1522	3.1843	2.7636				0.2784	0.7867	2.8257	0.4346	1.4469	3.3295	0.5095	1.9113	3.7512
1.3126	5.7329	4.3674															
0.9001	2.7341	3.0377	2.7103	6.5957	2.4336	0.5362	1.3131	2.4487	0.4862	1.8993	3.9064	0.5348	1.5892	2.9715	0.4668	1.4755	3.1606
0.7663	2.9353	3.8305															
1.1329	3.9301	3.4692	1.8106	5.9644	3.2942	0.9291	3.3453	3.6004	0.6054	1.8469	3.0506	0.9280	3.4297	3.6959	0.9912	3.5139	3.5452
1.4931	5.3119	3.5576	1.9878	6.2137	3.1260	1.2127	5.0278	4.1460	0.8517	2.6642	3.1280	1.3374	4.1940	3.1359	0.8807	3.0401	3.4519
5.6085	21.6847	3.8664										4.6882	24.4546	5.2162			
0.7235	2.3004	3.1794										0.6534	2.8110	4.3020			
11.0750	41.1663	3.7170	10.3447	40.8572	3.9496	7.1615	22.4468	3.1344	6.3536	20.7431	3.2648	9.3805	40.4120	4.3081	7.6934	33.5958	4.3668
		3.4785			3.4507			3.8049			3.4964			3.7154			3.8178

El promedio de todos los eventos sísmicos se muestra en color amarillo para cada estación. La tabla 24 presenta los promedios obtenidos de la tabla 23.

Tabla 24. Promedio de los cocientes espectrales máximos ($S_{a_{max}}/A_{max}$)



ESTACION	PROMEDIO
CMIC	4.049573
CU	3.779245
INIRENA	3.462754
LUZ ALOU	3.857238
MEDICINA	3.478539
PSICOLGÍA	3.450677
SAN NICOLAS	3.804919
SCT	3.496399
UVAQ	3.715383
VETERINARIA	3.817790

La estación que amplifica más el movimiento del terreno con relación a los otros sitios es la de CMIC alcanzando 4.05 veces.

Conclusiones

En el presente trabajo se describe la Red Sísmica Nicolaita. Se describen y analizan los acelerogramas registrados en la ciudad de Morelia durante los últimos cuatro años. Se obtienen los espectros de respuesta para evaluar los periodos dominantes y las amplitudes espectrales en los distintos sitios donde se localizan las diez estaciones sísmicas. Se calcularon también cocientes espectrales que permiten identificar las características dinámicas de los suelos y los sitios de la ciudad que muestran mayor amplificación respecto a la estación de INIRENA. Esta última estación fue seleccionada como estación base por registrar, en términos generales la menor aceleración de las estaciones sísmicas.

Los resultados mostraron que existe una importante diversidad respecto a la máxima aceleración espectral esperada en los lugares donde se ubican las estaciones sísmicas. Se obtuvieron amplificaciones espectrales de entre dos y diez veces lo calculado en la estación INIRENA, valores que, por el limitado número de temblores hasta ahora registrados, deben continuarse obteniendo a partir de un mayor número de eventos sísmicos registrados.

Se obtuvo también la relación de la aceleración máxima espectral respecto a la aceleración máxima del terreno que varió en un intervalo de 3.45 a 4.05 entre las diez estaciones sísmicas.

Como ingenieros civiles nuestro deber es buscar siempre la seguridad de las estructuras para evitar pérdidas de vidas humanas. Con este trabajo se pretende incrementar el conocimiento del movimiento dinámico de los suelos de la ciudad, para lograr que los efectos destructivos de temblores futuros sean cada vez menores y las futuras construcciones sean proyectadas con parámetros de diseño que las hagan menos vulnerables desde el punto de vista sísmico.



Referencias

Catálogo de Datos de la Red Sismológico Nacional <http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalago> consultado 16 de octubre del 2021.

USGS Science for a changing world <https://earthquake.usgs.gov> consultado 18 de septiembre del 2021

Jara J.M. y Jara M. (2007). Peligro sísmico, Capítulo 2. Ed. Morevallado.

Gama A. (2010). Estudio sísmico para la ciudad de Guerrero. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.

Kostoglodov V. y Pacheco J. (1999). Cien años de sismicidad en México. Instituto de Geofísica, UNAM.

<http://usuarios.geofisica.unam.mx/vladimir/sismos/100a%F1os.html>