



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**GENERACIÓN DE ACELEROGRAMAS ARTIFICIALES PARA SISMOS DE
MAGNITUD MODERADA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

KIMBERLY ALEXANDRA ARAYA ESPINOSA

PROFESOR GUÍA:
SERGIO RUIZ TAPIA

PROFESOR CO-GUÍA:
JAVIER OJEDA VARGAS

COMISIÓN:
SEBASTIÁN ARRIOLA SANTIBÁÑEZ

SANTIAGO DE CHILE
2024

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL
POR: KIMBERLY ALEXANDRA ARAYA
ESPINOSA
FECHA: 2024
PROF. GUÍA: SERGIO RUIZ TAPIA

GENERACIÓN DE ACELEROGRAMAS ARTIFICIALES PARA SISMOS DE MAGNITUD MODERADA

Este Trabajo de Título se centra en la generación de acelerogramas artificiales para sismos de magnitud moderada (M_w 5,5 - 6,5) en el norte de Chile, utilizando el software Parallel Wave SIMulation (PWSIM). La actividad sísmica en Chile, particularmente en el norte, plantea un desafío considerable para la ingeniería civil, ya que es fundamental garantizar la seguridad y estabilidad de estructuras como edificios, puentes y presas. En este contexto, la simulación de acelerogramas artificiales desempeña un papel crucial para evaluar la respuesta estructural de las edificaciones ante eventos sísmicos.

El principal objetivo de este estudio es evaluar el desempeño del software PWSIM para generar acelerogramas precisos que puedan ser utilizados en la predicción del comportamiento estructural durante sismos de magnitud moderada. Se realizaron simulaciones basadas en eventos sísmicos reales, cuyos datos fueron obtenidos del Centro Sismológico Nacional (CSN). Los acelerogramas generados fueron comparados con registros observados, y se utilizó la métrica de bondad del ajuste (GOF) para evaluar la precisión de las simulaciones.

Los resultados obtenidos muestran que PWSIM es capaz de reproducir con buena precisión los acelerogramas de eventos moderados, especialmente en zonas interplaca con profundidades de hasta 70 kilómetros. Esta memoria contribuye a la mejora en la simulación de movimientos fuertes del terreno, ofreciendo una herramienta útil para el diseño y análisis sísmico en países altamente sísmicos como Chile. Asimismo, el estudio proporciona recomendaciones para la aplicación de este software en futuros estudios relacionados con la ingeniería estructural y la sismología.

A mis compañeros gatunos, Pelu y Venus.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a mi padre, ya que sin él no podría haber estudiado todos estos años en la universidad. Gracias por los sacrificios que ha hecho durante toda mi vida para que no me falte nada y por brindarme su apoyo, esta memoria es en parte suya también.

Además, le doy las gracias a mis amigos y compañeros de Civil que han sido parte de este proceso y han estado presentes, cada uno a su forma: Valeria, Daniel, Seba, Vicho y Leonardo, les guardo un cariño gigante a todos y les doy las gracias por hacer más amena mi estancia en la facultad.

A Javier Ojeda y al profesor Sergio Ruiz, quienes me han tenido toda la paciencia del mundo en el desarrollo de esta memoria, muchas gracias por su disposición y por todo el conocimiento que me han aportado durante estos meses.

Por último, pero no menos importante, agradezco infinitamente a mis compañeros gatunos, Pelusa y Venus, los amo con mi alma. Me han dado la motivación necesaria en el momento justo y me han acompañado en mis largas noches de insomnio.

Tabla de contenido

1. Introducción.....	1
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivo General.....	1
1.1.2 Objetivos Específicos	1
1.2 Estructura de Trabajo.....	2
1.3 Consideraciones	3
2. Marco Teórico	4
2.1 Contexto sismo tectónico	4
2.2 Método estocástico para generación de acelerogramas.....	6
2.3 Software de generación de acelerogramas artificiales PWSIM	9
2.3.1 Parámetros de entrada del software.....	10
2.3.2 Bondad del ajuste	16
2.5 Aceleración máxima.....	16
3. Metodología.....	18
3.1 Máquina virtual	18
3.2 Registro de eventos significativos	18
3.3 Software PWSIM.....	19
3.4 Bondad del ajuste	27
3.5 Aceleración máxima.....	27
4. Resultados.....	29
4.1 Evento N.º15	32
4.2 Evento N.º17	37
4.3 Evento N.º28	41
4.4 Resumen global de las simulaciones	47
4.5 PGA en función de la distancia hipocentral	53

5. Análisis y Discusión de Resultados.....	60
6. Conclusiones.....	64
7. Comentarios y Recomendaciones.....	66
Bibliografía.....	67
Anexo.....	70

1. Introducción

En el contexto de la Ingeniería Civil, la simulación de acelerogramas artificiales desempeña un papel fundamental en la evaluación de la respuesta estructural ante eventos sísmicos, un ejemplo de ello es la aplicación de Bustos et al. (2023) en depósitos de relaves o de Cárdenas & Montalva (2023) en la evaluación de peligro sísmico. Esta memoria de título de se enfoca en la generación y evaluación de acelerogramas artificiales para comprender de mejor manera los escenarios sísmicos en el norte de Chile.

La actividad sísmica en Chile, especialmente en el norte del país, plantea un desafío significativo para la ingeniería civil, ya que es esencial garantizar la seguridad y estabilidad de estructuras como edificios, puentes y presas. La simulación precisa de acelerogramas es fundamental para comprender y predecir los efectos de los eventos sísmicos. Este estudio se justifica en la necesidad de mejorar la precisión en la simulación de eventos sísmicos moderados, contribuyendo así a la seguridad y análisis en las áreas sísmicamente activas.

El principal objetivo de este trabajo es evaluar el desempeño del software Parallel Wave SIMulation (PWSIM) en la generación de acelerogramas para eventos sísmicos de magnitud moderada en el norte de Chile (latitudes -56° a -16° y longitudes -110° a -60°). Los alcances se concentran específicamente en eventos interplaca con magnitud de momento entre los 5,5 a 6,5 abordando así un rango relevante de fenómenos sísmicos característicos de la zona.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

El objetivo principal es evaluar el desempeño del código Parallel Wave SIMulation (PWSIM) para sismos chilenos de magnitud moderada, refiriendo estos últimos a eventos cuya magnitud de momento sísmico, M_w , se encuentra en el rango 5,5 a 6,5.

1.1.2 Objetivos Específicos

Por otra parte, los objetivos específicos son los siguientes:

- Analizar los registros de aceleraciones obtenidos de la base de datos del Centro Sismológico Nacional (CSN).
- Caracterizar los parámetros sísmicos de los eventos de interés que han ocurrido en Chile.
- Interpretar los resultados de la simulación de registros a realizar.

1.2 Estructura de Trabajo

Para alcanzar los objetivos propuestos, se llevará a cabo la simulación de varios sismos ocurridos en el norte del país utilizando el software. Posteriormente, se compararán los acelerogramas generados con datos reales obtenidos del Centro Sismológico Nacional (CSN). Esta metodología permitirá evaluar la precisión y utilidad del software en la generación de acelerogramas.

Este trabajo se organiza en siete capítulos principales, cuya descripción y denominación se presentan a continuación:

1. **Introducción.**
Se dan a conocer el contexto, objetivos, estructura y limitaciones del estudio realizado.
2. **Marco Teórico.**
Resume los términos y conceptos fundamentales que sustentan el trabajo realizado, para posteriormente comprender la metodología aplicada. Además, incorpora la información más relevante de la revisión bibliográfica. En particular, en este caso el marco teórico se divide en 3 temas: contexto sismotectónico, método estocástico para generación de acelerogramas y software de generación de acelerogramas artificiales PWSIM.
3. **Metodología.**
Corresponde al paso a paso del trabajo realizado para lograr el cumplimiento de lo propuesto. Específicamente, esta metodología cuenta con 4 subsecciones: máquina virtual, registro de eventos significativos, software PWSIM y bondad del ajuste.
4. **Resultados.**
Se presentan los resultados de 3 de las simulaciones realizadas, junto con los acelerogramas obtenidos y su bias.
5. **Análisis y Discusión de Resultados.**
Corresponde a la evaluación objetiva de lo obtenido, incluyendo las observaciones y consideraciones tanto particulares como globales de los resultados.
6. **Conclusiones.**
Consiste en la identificación o resumen de los hallazgos clave e interpretación del capítulo anterior. También, sintetizar el trabajo realizado y dar cuenta del cumplimiento o no de los objetivos planteados.
7. **Comentarios y Recomendaciones.**
En este último capítulo busca ofrecer ciertos comentarios y recomendaciones al lector, abordando ciertas consideraciones observadas posterior a la finalización del estudio y que podrían ser de utilidad para futuras continuaciones de este.

1.3 Consideraciones

Este estudio se enfoca exclusivamente en eventos sísmicos ocurridos en el norte de Chile, con magnitudes moderadas y profundidades de hasta 70 kilómetros, es decir, aquellos catalogados como eventos interplaca. La base de datos disponibles consta desde el año 2012 hasta el presente, sin embargo, los datos a considerar se filtran hasta el año 2023. Esta decisión temporal y geográfica establece un marco específico para la evaluación del software en la generación de acelerogramas artificiales.

Además, es importante reconocer que la extrapolación de los resultados obtenidos podría ser limitada a otras regiones geográficas o a condiciones sísmicas diferentes a las del norte de Chile. Por lo tanto, cualquier conclusión derivada de este estudio debe interpretarse dentro del contexto específico de las características sísmicas y la disponibilidad de datos mencionadas anteriormente.

2. Marco Teórico

2.1 Contexto sismo tectónico

La República de Chile está situada en Sudamérica en el margen suroccidental del continente, se ubica mayormente sobre la placa Sudamericana, la cual al oeste se encuentra en contacto con la placa de Nazca, hasta la península de Taitao y con la placa Antártica desde este último punto hasta la boca occidental del Estrecho de Magallanes. Estas placas convergen a una velocidad aproximada de 65 mm/año y 18 mm/año, respectivamente. En territorio austral la placa Sudamericana desliza horizontalmente con respecto a la placa de Scotia, aproximadamente a 7 mm/año (Barrientos, 2018).

La interacción entre las placas tectónicas mencionadas genera todos los tipos de sismos tectónicos que ocurren en Chile. Debido a su mayor velocidad de convergencia, la interacción entre las placas de Nazca y Sudamericana es responsable de la sismicidad más activa en el país. En la Figura 2-1 se ilustra la distribución global de las placas tectónicas. Particularmente, este estudio se enfoca en la zona norte de Chile, la cual según Ruiz & Madariaga (2018) corresponde a uno de los focos sísmicos del país y además posee una mayor cobertura de estaciones sísmicas.

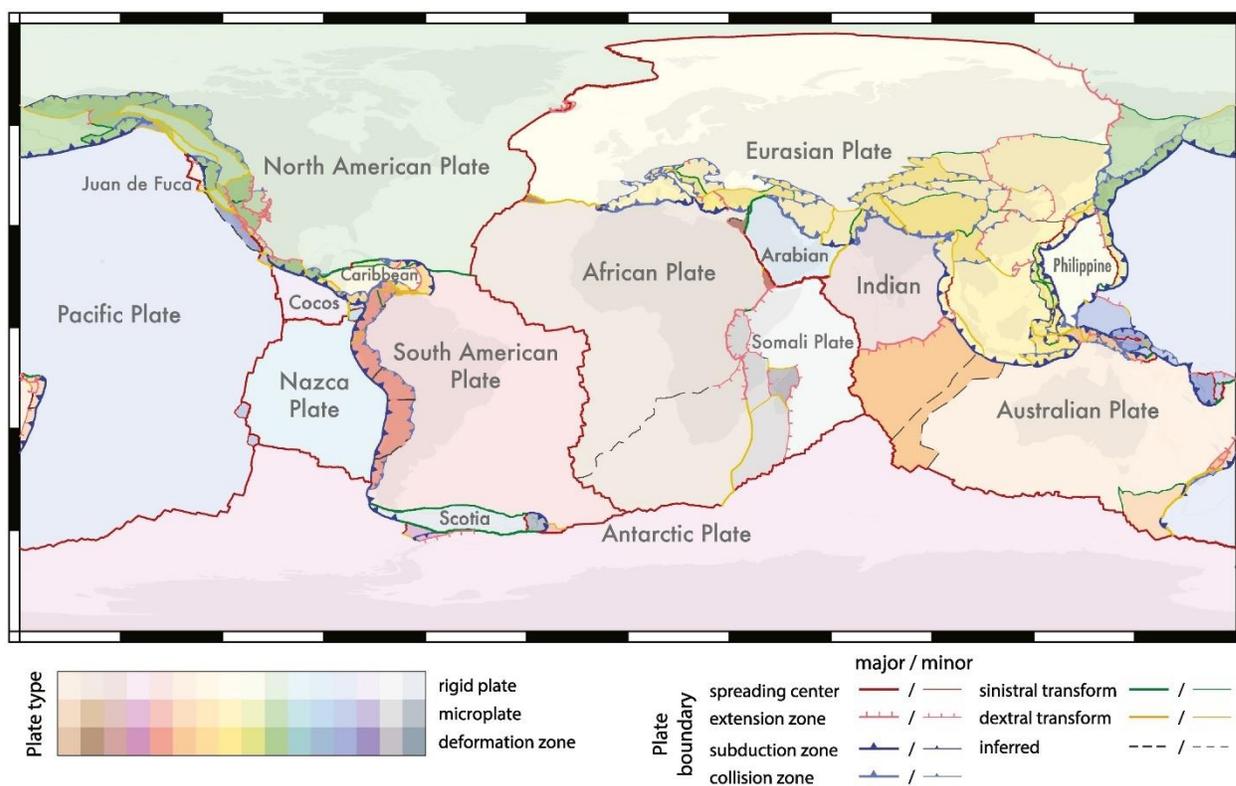


Figura 2-1. Distribución actual de placas tectónicas (Hasterok et al., 2022).

Así, la ubicación geográfica de Chile respecto a las placas tectónicas y la actividad sísmica que esta implica se traduce en la necesidad de monitorear esta última. El monitoreo de la actividad sísmica que afecta al país está a cargo del Centro Sismológico Nacional (CSN), este organismo entrega datos e información sismológica a otros organismos como lo son, por ejemplo, el Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED) y el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), o bien, a la comunidad en general (Centro Sismológico Nacional, s. f.-a).

Según el Centro Sismológico Nacional (s. f.-c), en Chile se distinguen principalmente 5 tipos de sismos. A continuación, se mencionan las características más relevantes de cada tipo.

1. Sismos interplaca: también conocidos como terremotos de subducción. Son sismos compresionales con mecanismos de falla inversa y su magnitud es proporcional al desplazamiento y al área de la zona de desplazamiento. La profundidad de estos eventos se limita a unos 60 kilómetros como máximo.
2. Sismos intraplaca: ocurren a profundidades mayores a 50 kilómetros al interior de la placa oceánica.
3. Sismos superficiales o corticales: en Chile, estos se deben principalmente a las deformaciones ocurridas por la convergencia entre la placa de Nazca y Continental. Sus profundidades no superan los 60 kilómetros puesto que ocurren en la corteza de la placa Continental.
4. Sismos Outer-Rise: son sismos de baja profundidad, menor a 30 kilómetros. Ocurren debido a la deformación y esfuerzos que sufre la placa de Nazca previo a subducir.
5. Sismos por falla transformante: ocurren debido al desplazamiento lateral entre 2 placas tectónicas.

Los tipos de sismos deben su naturaleza al tipo de falla que los origina, es decir, el tipo de falla determina cómo se produce la ruptura en la corteza terrestre. En la Figura 2-2 se ilustra la subducción entre las placas de Nazca y Sudamericana y se indican también los principales tipos de falla.

Para que el CSN pueda recopilar la información mencionada, se requiere de la Red Sismológica Nacional, esta comprende un conjunto de estaciones sismológicas multi-paramétricas ubicadas en el territorio nacional, un sistema de comunicaciones para transportar las señales hasta los servidores centrales y un centro de adquisición, archivo, análisis y distribución de datos e información sísmica.

Las estaciones consideran 3 parámetros: velocidad, aceleración y posición del suelo, los cuales se miden con sismógrafos, acelerógrafos y receptores GNSS, respectivamente. Los acelerógrafos o acelerómetros miden la aceleración del suelo y son capaces de registrar eventos de gran magnitud en el campo cercano; además, permiten identificar el hipocentro (o foco) y magnitud de terremotos (Barrientos, 2018).

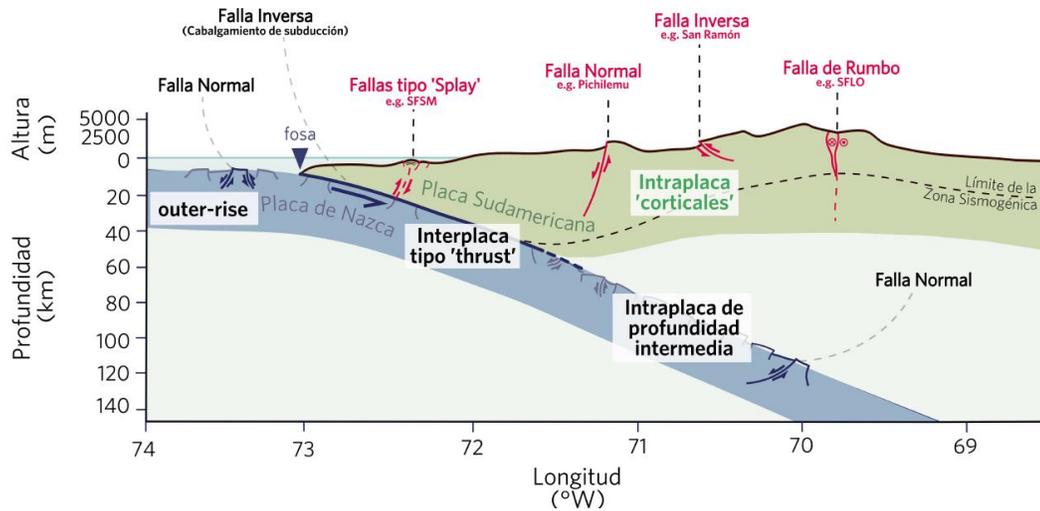


Figura 2-2. Perfil esquemático del margen de subducción Nazca-Sudamérica con los principales tipos de fallas sísmogénicas. Los recuadros blancos indican las categorías más relevantes de eventos sísmicos de origen tectónico que ocurren en el margen de subducción chileno, clasificadas según su origen. Recuperado de Maldonado (2020).

2.2 Método estocástico para generación de acelerogramas

La simulación del movimiento fuerte del suelo y la generación de acelerogramas sintéticos se han realizado de manera determinística y estocástica. Este trabajo utiliza un método estocástico que reproduce la alta frecuencia de los terremotos, basado en las ideas de Hanks & McGuire (1981) quienes sugirieron que los acelerogramas pueden replicarse en el rango de alta frecuencia. Con esta metodología, nos enfocamos en frecuencias superiores a 1 Hertz o periodos menores a 1 segundo.

El sismólogo Keiiti Aki dedujo una expresión para obtener el espectro de ondas sísmicas irradiadas por fallas complejas; en consecuencia, su trabajo ha sido utilizado a través de los años para predecir el movimiento del terreno ante terremotos, especialmente para frecuencias altas que implican una distribución espacial y temporal del deslizamiento de falla complejas, justificándose así la descripción estocástica de la fuente (Boore, 2003).

El espectro del movimiento del suelo es la parte esencial del método estocástico, ya que, este contiene la física del proceso sísmico y la propagación de las ondas, normalmente encapsulada y puesta en forma de ecuaciones sencillas. El modelo busca esencialmente describir el espectro del movimiento del suelo. Boore (2003) propone expresar el espectro total del movimiento ($Y(M_0, R, f)$) por contribuciones de la fuente del terremoto (E), la trayectoria (P), el lugar (G) y el instrumento o tipo de movimiento (I), entonces se tiene,

$$Y(M_0, R, f) = E(M_0, f) P(R, f) G(f) I(f) \tag{1}$$

Siendo M_0 la magnitud de momento sísmico.

Las simulaciones estocásticas de movimientos fuertes del terreno fueron propuestas inicialmente por Boore (1983) como un método rápido y fiable para capturar el contenido de alta frecuencia irradiado por los terremotos. Desde entonces, diferentes investigadores han mejorado la metodología incorporando diferentes fuentes, trayectorias y efectos de sitios para calcular acelerogramas sintéticos y contrastarlos con los registros observados. Las simulaciones de movimientos fuertes del terreno consideraban inicialmente solo las ondas verticales incidentes de una fuente de falla puntual. Actualmente, las ondas P, SV y SH asociadas a una falla finita de cualquier evento pueden simularse para generar registros sintéticos de movimiento fuerte del terreno (Otarola & Ruiz, 2016).

Los acelerogramas sintéticos son herramientas fundamentales en ingeniería sísmica que se utilizan para diseñar estructuras seguras, evaluar riesgos sísmicos y mejorar la comprensión de la actividad sísmica. Para modelar el efecto fuente, Otarola & Ruiz (2016) utilizan la Ecuación 2. Sin embargo, también se tuvo en cuenta otros aspectos además de las fuentes, las trayectorias y efectos de emplazamiento, como la partición de energía (EP), la superficie libre (FS), efectos del patrón de radiación ($\langle \mathcal{R} \rangle$), la dispersión geométrica ($G(R)$) y la función de amplificación general (Amp), junto con los parámetros de momento sísmico (M_0), frecuencia (f), frecuencia de esquina (f_c), factor de calidad ($Q(f)$), velocidad de la onda sísmica (V_X , con X siendo P o S) y densidad (ρ).

$$A_{ijm}^X = \frac{\langle \mathcal{R} \rangle_{ijm}^X FS_{ijm}^X EP_{ijm}^X M_{0ij}}{4\pi\rho V_X^3} \frac{(2\pi f)^2}{1 + \left(\frac{f}{f_{cij}^X}\right)^\gamma} G(R_{ijm}) \exp\left(-\frac{\pi f R_{ijm}}{Q_X(f)V_X}\right) Amp(f) \exp(-\pi\kappa_{0m}f) \quad (2)$$

Para devolver los acelerogramas modelados del dominio de la frecuencia al tiempo se aplica una transformada inversa de Fourier. Los acelerogramas se obtuvieron utilizando los ángulos azimutales para cada par de subfalla/estación y rotando los sistemas de coordenadas radiales, tangenciales y ascendentes (Fig. 2-3f), además, estos tienen un desfase temporal calculado por la trayectoria del rayo en el modelo de velocidad regional (Fig. 2-3i). Para obtener los registros en las componentes NS, EW y Z (Fig. 2-3g) se sumaron los acelerogramas modelados y, finalmente, se comparó los registros sintéticos y observados (Fig. 2-3g).

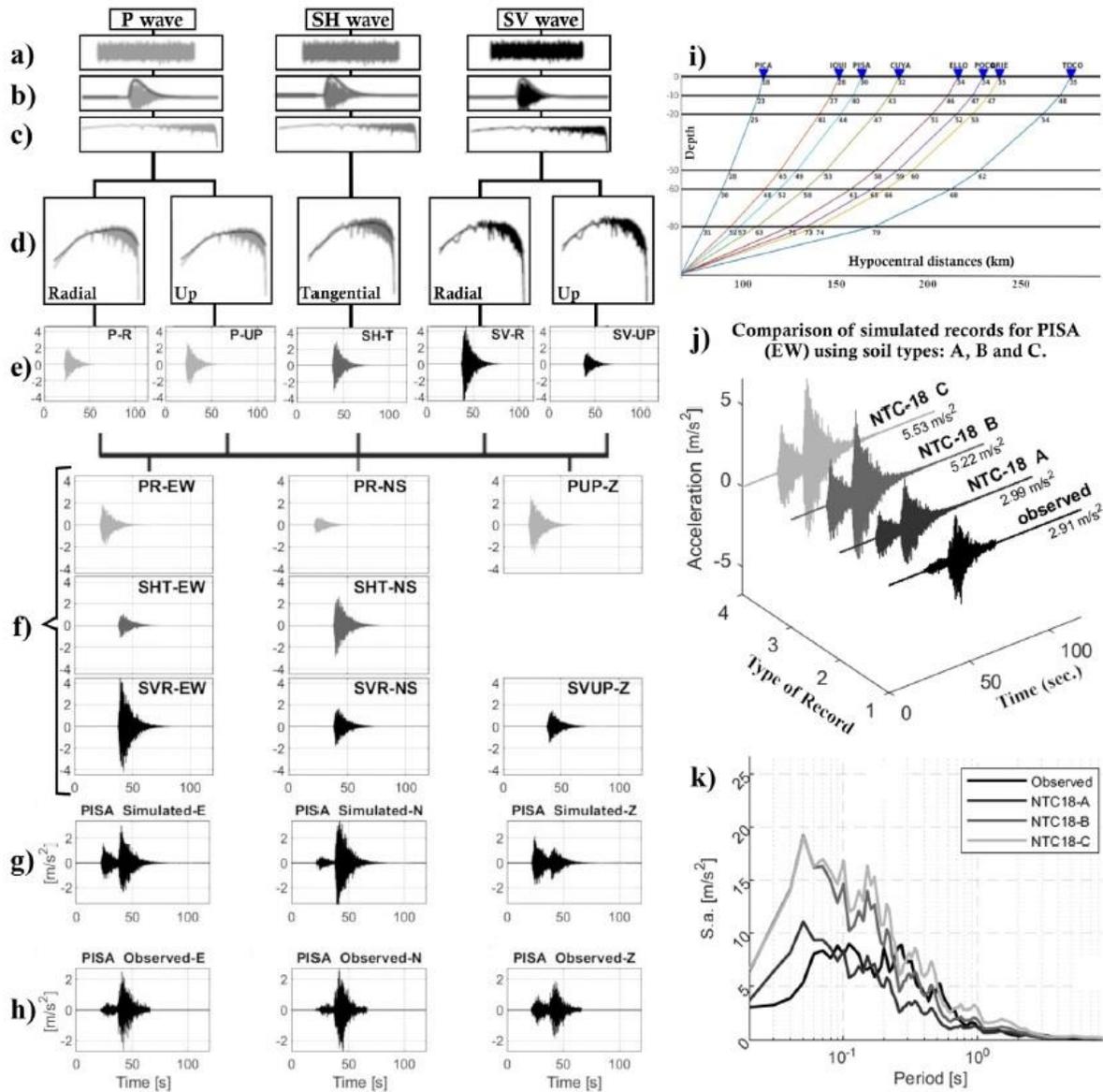


Figura 2-3. Esquema del método de simulación estocástica de fallos finitos. (a) Ruido blanco aleatorio; (b) Ruido blanco modulado en el tiempo; (c) Ruido blanco modulado en el dominio de la frecuencia; (d) Ruido blanco modulado normalizado para el espectro de Brune y convolucionado con la Ecuación (2); (e) Series temporales de ondas radiales y tangenciales de ruido blanco modulado; (f) Series temporales rotadas en componentes EW, NS y Z; (g) Registros simulados y (h) Registros observados para la estación PISA (simulación y observación del terremoto de Tarapacá de 2005); (i) Vista de perfil de la trayectoria de las olas desde una subfuente a todas las estaciones; (j) Diferentes simulaciones en el suelo usando diferentes tipos de suelo y (k) Comparación de los espectros de (j) y el registro observado para la estación PISA que registró el terremoto de 2005 en Tarapacá. Recuperado de Flores et al. (2023).

2.3 Software de generación de acelerogramas artificiales PWSIM

Ya mencionada la utilización de métodos estocásticos para la predicción del movimiento del suelo ante terremotos y en base a la teoría respectiva que lo sustenta, durante los últimos años, varios colaboradores del Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile han trabajado en el desarrollo y mejora de un software de generación de acelerogramas artificiales, el cual se denomina PWSIM (Parallel Wave SIMulation).

Este trabajo surgió ante la problemática que suponen las simulaciones actuales ya que consideran simplificaciones que no permiten generar acelerogramas realistas de grandes terremotos de subducción como los que ocurren a lo largo de la subducción en Chile (Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, s. f.).

El software PWSIM reproduce el movimiento del suelo considerando las características físicas de la ruptura de terremotos, tomando en cuenta una amplia gama de magnitudes y tipos de sismos. Además, este programa puede modelar las componentes horizontales y verticales de acelerogramas considerando el tipo de suelo donde se requiere la simulación.

Esta metodología de generación de acelerogramas remonta sus inicios al trabajo de Otarola & Ruiz (2016) quienes concluyen que “la calibración del método propuesto utilizando los datos del terremoto del 14 de noviembre de 2007 en Tocopilla (Mw 7), del 1 de abril de 2014 en Iquique (Mw 8,8) y del 3 de abril de 2014 en Iquique (Mw 7,6) permite una buena estimación de la simulación de un megaterremoto (Mw 9,0) en el Norte de Chile” (p. 130).

En el trabajo de Ojeda (2018) se simulan acelerogramas sintéticos para los terremotos ocurridos el 21 y 22 de mayo de 1960 utilizando la misma metodología que la empleada en el presente estudio. Se concluye que la metodología estocástica de falla finita permite simular acelerogramas a partir de características de la fuente, la trayectoria y el sitio.

A la fecha, se cuenta con un amplio número de artículos, trabajos de tesis, entre otros documentos, que dan cuenta de las adaptaciones, cambios y mejoras que han sido implementadas al software desde su primera versión. Así, se ha logrado validar los resultados de este para eventos sísmicos de grandes magnitudes (Blaser et al., 2018; Flores et al., 2023; Gutiérrez, 2022; Ojeda et al., 2021; Otarola & Ruiz, 2016; Retamal, 2021; Ruiz et al., 2018).

Sin embargo, surge el cuestionamiento respecto al funcionamiento del programa para eventos sísmicos de magnitudes moderadas, es decir, aquellas que oscilan entre Mw 5,5 y 6,5; puesto que no se conoce el desempeño que se tendrá al considerar eventos de magnitudes menores y, en consecuencia, variar los parámetros de entrada del software.

2.3.1 Parámetros de entrada del software

Para la ejecución del software, se deben completar previamente ciertos archivos de entrada. El primero de ellos se denomina params y recopila los siguientes parámetros para cada evento:

- Magnitud de momento (M_w).
- Tiempo total de la traza sintética (ttime).
- Cantidad de muestras por segundo para la traza simulada (sps).
- Velocidad global de onda P en vecindad de la fuente (α).
- Velocidad global de onda S en vecindad de la fuente (β).
- Densidad en vecindad de la fuente (ρ).
- Factor de calidad onda S (Q_{so}).
- Factor de calidad onda P (Q_{po}).
- Caída de esfuerzos ($d\sigma$).
- Longitud hipocentral (l_{onhip}).
- Latitud hipocentral (l_{athip}).
- Profundidad hipocentral (z_{hip}).
- Opción de filtrar la aceleración sintética (filter_acc).
- Frecuencia mínima para filtro de aceleración (fmin_acc).
- Frecuencia máxima para filtro de aceleración (fmax_acc).
- Opción de integrar la forma de onda a velocidad (velocity).
- Opción de filtrar la velocidad sintética (filter_vel).
- Frecuencia mínima para filtro de velocidad (fmin_vel).
- Frecuencia máxima para filtro de velocidad (fmax_vel).
- Número de threads utilizados para calcular las formas de onda (threads).
- Archivo que contiene el modelo de fuente finita (ffm).
- Archivo que contiene el modelo de velocidad global en capas (velmodel).
- Archivo con detalle de las estaciones utilizadas para generar las formas de onda (stations).
- Opción de aplicar función de transferencia a las estaciones indicadas (applyTF).
- Densidad global para las funciones de transferencia (ρ).
- Amortiguamiento de onda P para las funciones de transferencia (b_p).
- Amortiguamiento de onda Sv para las funciones de transferencia (b_{sv}).
- Amortiguamiento de onda Sh para las funciones de transferencia (b_{sh}).
- Semilla para generación de ruido blanco gaussiano (seed).
- Patrón de radiación a utilizar para los cálculos (radpat).
- Alternativas para el cálculo de los factores de superficie de libre (calcfs).
- Opción de incorporar el cálculo de las distancias Joyner-Boore (JB_file).



```
params.dat (~/Escritorio/F2) - gedit
Abrir
Mw 6.3
ttime 120
sps 100
alpha 7.9
beta 4.6
rho 3.1
Qso 600.0
Qpo 1350.0
dsigma 500.0
lonhip -71.42
lathip -30.79
zhip 40
filter_acc 0
fmin_acc 0.1
fmax_acc 10.0
velocity 0
filter_vel 1
fmin_vel 0.1
fmax_vel 10.0
threads 2
ffm fuente.dat
velmodel velmod.dat
stations estaciones200.txt
applyTF 0
rho_tf 1.8
b_p 0.05
b_sv 0.05
b_sh 0.05
seed 10
radpat 0
calcfs 1
JB_file 0
```

Figura 2-4: Archivo de parámetros de entrada.

A su vez, el archivo de fuente finita ya mencionado se ordena por columnas que corresponden a otros parámetros de entrada que deben ser completados. Estos son:

- Longitud: en grados [°].
- Latitud: en grados [°].
- Profundidad: en metros.
- Slip: este ángulo corresponde al deslizamiento promedio a lo largo de la falla propuesta.
- Strike: Ángulo medido en un plano horizontal, en sentido horario y con origen en el norte geográfico. Corresponde al azimut de la traza de la falla.
- Dip: Mide la desviación angular de la horizontal. Es un ángulo entre 0 y 90 grados.
- Rake: Ángulo entre la línea geológica y la línea de rumbo del plano que la contiene.
- Ancho: en metros.
- Largo: en metros.
- Tiempo de ruptura: en segundos.

El archivo velmod.dat, correspondiente al modelo de velocidad global en capas, está ordenado por columnas y entrega las velocidades de ondas P y S en función de la profundidad. En particular, para este estudio se consideró el modelo de velocidades expuesto en la Tabla 1.

Tabla 1. Modelo de velocidad global. Adaptado de Husen et al. (1999).

Profundidad [km]	Velocidad ondas P, V_P [km/s]	Velocidad ondas S, V_S [km/s]
2,50	5,37	3,09
4,50	5,55	3,19
6,50	5,72	3,29
8,50	5,89	3,39
10,50	5,98	3,44
15,00	6,80	3,75
20,00	6,81	3,88
25,00	6,95	3,94
30,00	6,98	4,05
35,00	7,11	4,11
40,00	7,41	4,18
45,00	7,69	4,30
50,00	8,05	4,39
60,00	8,48	4,73
70,00	8,48	4,78

También, referente a la opción de aplicar función de transferencia (applyTF), si el valor es 1 se aplica función de transferencia a las estaciones marcadas con 1 o 2 en el último valor del archivo de estaciones (stations), si es 0 no tiene efecto. Cabe mencionar que existen dos formas de incluir el suelo en las simulaciones a realizar:

- 1) Mediante funciones de transferencia de amplificación del suelo (SATF por sus siglas en inglés).
- 2) A través de una amplificación genérica de suelo rocoso (GRSA por sus siglas en inglés).

Dado que la primera alternativa requiere modelos locales del suelo, los cuales no están disponibles y considerando que se trabajará en una amplia zona geográfica, se ha optado por la segunda alternativa. Esta consiste en utilizar amplificaciones genéricas según el tipo de suelo. Esta opción se respalda en la factibilidad demostrada por Ojeda et al. (2021) en las simulaciones del terremoto de Norcia ocurrido el año 2016, el cual se basa en el trabajo de Felicetta et al. (2021).

En dicho trabajo, se ocuparon amplificaciones genéricas de suelo rocoso, considerando su componente horizontal de amplificación y también considerando que la componente vertical corresponde a 0,73 veces la amplificación horizontal. Los archivos con los factores de amplificación por frecuencia predefinidos poseen 3 columnas correspondientes a la frecuencia, factor de amplificación horizontal y vertical. Esta información se muestra en las Tablas 2, 3 y 4.

Tabla 2. Factores de amplificación sitio A.

Frecuencia	Amplificación horizontal	Amplificación vertical
0,10	1,00	0,73
0,49	1,07	0,78
0,58	1,10	0,80
0,68	1,12	0,82
1,46	1,22	0,89
2,84	1,33	0,97
5,10	1,46	1,07
7,72	1,58	1,16
9,96	1,68	1,23
10,80	1,71	1,25
13,78	1,79	1,31
15,01	1,82	1,33
17,42	1,89	1,38
19,66	1,93	1,41
21,10	1,96	1,43
22,90	1,98	1,45
31,59	2,09	1,52
36,53	2,13	1,56
58,33	2,20	1,60

Tabla 3. Factores de amplificación sitio B.

Frecuencia	Amplificación horizontal	Amplificación vertical
0,01	1,00	0,73
0,09	1,21	0,88
0,16	1,32	0,96

0,51	1,59	1,16
0,84	1,77	1,29
1,25	1,96	1,43
2,26	2,25	1,64
3,17	2,42	1,77
6,05	2,70	1,97
16,60	3,25	2,37
61,20	4,15	3,03

Tabla 4. Factores de amplificación sitio C.

Frecuencia	Amplificación horizontal	Amplificación vertical
0,01	1,00	0,73
0,09	1,43	1,00
0,16	1,71	1,20
0,51	2,51	1,83
0,84	2,92	2,04
1,25	3,10	2,17
2,26	3,23	2,26
3,17	3,18	2,23
6,05	3,18	2,23
16,60	3,18	2,23
61,20	3,18	2,23

Por último, sobre el archivo de estaciones (stations), este requiere ciertos parámetros, dentro de ellos al factor de atenuación empírico de alta frecuencia en la vecindad de la estación (κ). Así, a partir de las referencias consultadas se determinó que el valor a utilizar es conocido para ciertas estaciones mientras que para otras se ocupará el valor inferior del intervalo sugerido según el tipo de suelo. Esta información se resume en la Tabla 5.

Tabla 5. Factor de atenuación empírico de alta frecuencia en la vecindad de la estación (κ).
 Valores para sitios y estaciones recuperados de Ojeda et al. (2021) y Pozo et al. (2023),
 respectivamente.

Suelo/Estación	κ [s]
Sitio A	[0,020-0,025]
Sitio B	[0,030-0,035]
Sitio C	[0,040-0,045]
AP01	0,058
CO03	0,005
GO01	0,057
GO02	0,064
GO03	0,033
GO04	0,048
GO05	0,066
PB03	0,016
PB05	0,009
PB06	0,006
PB10	0,055
PB12	0,051
PB13	0,057
PB15	0,012
T05A	0,025
T07A	0,058
T09A	0,012
T10A	0,038
T11A	0,053
T12A	-0,006
T13A	0,058
TA01	0,067
TA02	0,063

2.3.2 Bondad del ajuste

Siguiendo la metodología utilizada por Otarola & Ruiz (2016), para cuantificar la similitud entre los resultados de los datos reales y los simulados, la bondad del ajuste o GOF por sus siglas en inglés, se calculan según las Ecuaciones (3) y (4). El sesgo o bias dependiente de la frecuencia/período se calcula de la siguiente manera:

$$B(T_k)^Y = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N \left\{ r_m(T_k)^Y = \ln \left(\frac{O_m^Y(T_k)}{S_m^Y(T_k)} \right) \right\} \quad (3)$$

Luego, la desviación estándar:

$$\sigma(T_k)^Y = \sqrt{\frac{1}{N} \left(\sum_{m=1}^N [r_m(T_k)^Y - B(T_k)^Y]^2 \right)} \quad (4)$$

Considerando que $O_m^Y(T_k)$ y $S_m^Y(T_k)$ son los espectros de los datos reales y simulados en la estación m , respectivamente. Además, $\sigma(T_k)^Y$ corresponde a la desviación estándar donde T_k es el periodo k , N es el número total de estaciones e Y la componente (norte – sur, este – oeste o vertical) a evaluar (Graves & Pitarka, 2010).

La medida de bondad del ajuste resume la diferencia entre el valor observado y el valor esperado. Es decir, un ajuste perfecto significaría que $B(T_k)^Y = 0$, sin embargo, en la práctica se espera que los resultados se acerquen al eje nulo en la medida de que se tenga un buen ajuste de parámetros.

2.5 Aceleración máxima

El PGA (Peak Ground Acceleration) es una medida de la aceleración máxima que experimenta el suelo durante un terremoto. Un valor más alto de PGA indica una mayor intensidad sísmica. En ingeniería, se utiliza junto con otros factores para evaluar el riesgo sísmico en una determinada zona y así diseñar edificaciones capaces de resistir las fuerzas generadas por un terremoto. En particular, para una cierta estación m en la componente Y del evento, se calcula de acuerdo con la Ecuación 5.

$$PGA_m^Y = \max |S_m^Y| \quad (5)$$

Además, para calcular la distancia entre el hipocentro del evento y la estación sismológica (d) para poder establecer la relación entre esta distancia y el PGA obtenido, se utilizó la fórmula de Haversine la cual se expresa en la Ecuación 6. Considerando que se conocen las coordenadas (latitud y longitud) de ambos puntos.

$$a = \sin^2 \left(\frac{lat_2 - lat_1}{2} \right) + \cos(lat_1) \cdot \cos(lat_2) \cdot \sin^2 \left(\frac{lon_2 - lon_1}{2} \right)$$

$$c = 2 \cdot \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a})$$

$$d = 6371 \text{ [km]} \cdot c \quad (6)$$

De forma complementaria a los gráficos de PGA en función de la distancia hipocentral, se pueden calcular las ecuaciones de predicción del movimiento del suelo, o GMPE por sus siglas en inglés, las cuales se explican en detalle en el trabajo de Idini et al. (2017). La expresión general que rige la predicción del movimiento del suelo está dada en la Ecuación 7.

$$\log_{10} PGA = F_F + F_D + F_S \quad (7)$$

Considerando las siguientes expresiones para eventos interplaca.

$$F_F = c_1 + c_2 \cdot M_w + c_9 \cdot M_w^2 \quad (8)$$

$$F_D = (c_3 + c_4 \cdot (M_w - M_r)) \cdot \log_{10}(R + c_6 \cdot 10^{c_7 \cdot (M_w - M_r)}) + c_5 \cdot R \quad (9)$$

$$F_S = S_T^* \cdot \log_{10} \left(\frac{V_{S30}}{V_{ref}} \right) \quad (10)$$

3. Metodología

3.1 Máquina virtual

Una Máquina Virtual (VM por sus siglas en inglés) es un ordenador simulado ejecutado en software en lugar de utilizar un hardware físico, en el caso particular de este Trabajo de Título se requiere implementar una VM para ejecutar el PWSIM. Primero, para ejecutar la máquina virtual en Windows se utiliza la plataforma VMware Workstation 16 Player (VMware, 2020).

3.2 Registro de eventos significativos

El CSN tiene a disposición en su página web el registro de eventos significativos (<https://evtdb.csn.uchile.cl/>) en el territorio chileno desde el 2012 a la fecha. Cada evento incluye datos relevantes del mismo como lo son: fecha (UTC), latitud, longitud, profundidad, magnitud, entre otros.

Dado que se quiere trabajar con eventos de magnitudes y locaciones específicas, se requiere filtrar previamente la información disponible, para esto, la página web incorpora la opción filtro de registros (Figura 3-1).

🔍 FILTRO DE REGISTROS

	Mín	Máy	
Fecha:	2012-01-0	2024-04-11	📘
Latitud:	-56	-16	📘
Longitud:	-110	-60	📘
Profundidad:	0	500	📘
Magnitud:	3	9	📘

Buscar

Figura 3-1. Filtro de registros disponible.

En particular, los rangos definidos son:

- Fechas: entre los años 2012 al 2024.
- Latitudes: entre -31 a -18 grados.
- Longitudes: entre -110 a -60 grados.
- Profundidades: entre 0 y 70 kilómetros.
- Magnitudes: entre 5,5 y 6,5.

También, para uniformizar la decisión de estaciones a considerar en la simulación, se definió un radio de 1,5 grados desde el hipocentro, el cual se ilustra con una estrella (★) en la Figura 3-2.

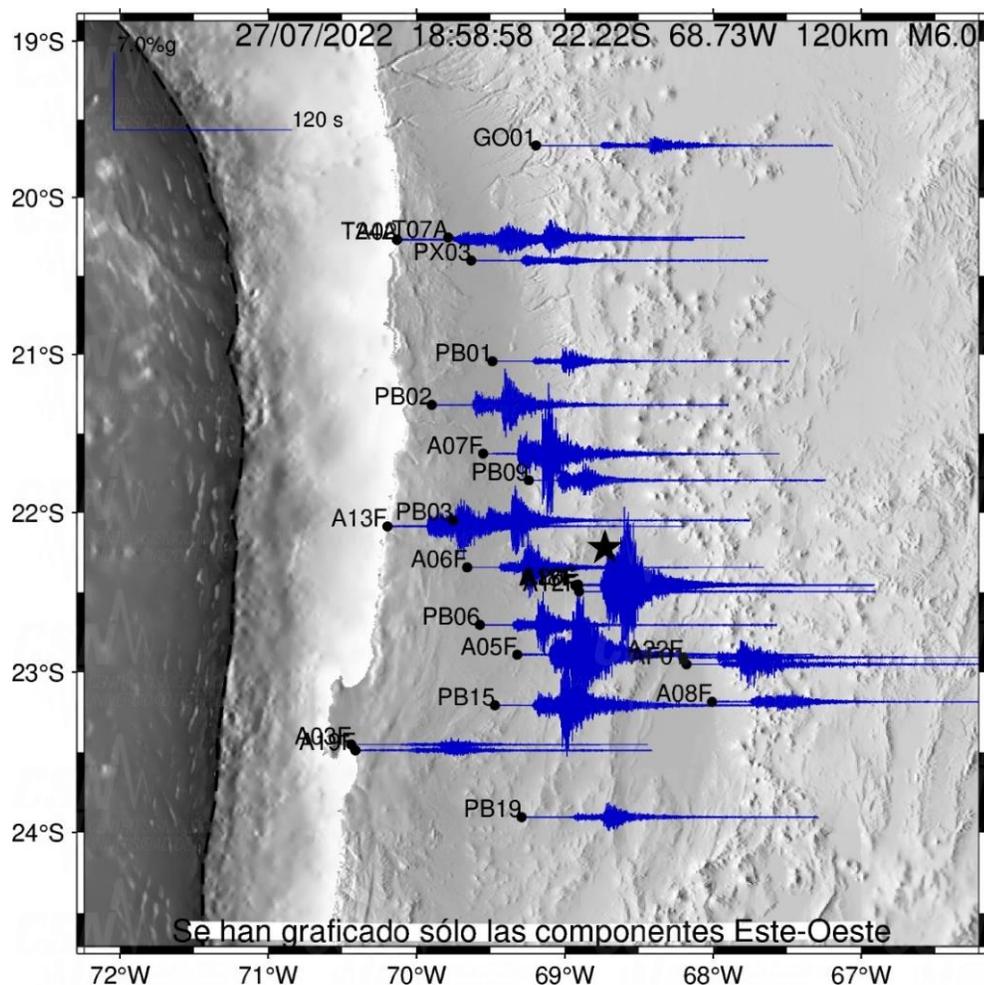


Figura 3-2. Mapa disponible para un evento aleatorio.

Es necesario corregir las diferencias de magnitud considerando la información del National Earthquake Information Center (NEIC) y uniformizar la localización del evento, latitud y longitud, de acuerdo con los datos del CSN en su sitio web www.sismologia.cl, en caso de que exista alguna diferencia con el Registro de Datos Significativos.

El NEIC es una división del United States Geological Survey (USGS) y se encarga específicamente de monitorear y reportar terremotos en todo el mundo. Se especializa en la recopilación y análisis de datos sísmicos para proporcionar información sobre eventos sísmicos, incluyendo su localización, magnitud y posibles impactos. En adelante se hablará de las magnitudes corregidas como propuestas por el USGS.

3.3 Software PWSIM

Se deben definir y ajustar los parámetros que requiere el software como input para el archivo params y el archivo fuente, los valores utilizados se exponen en la Tabla 6. Cabe mencionar que los ángulos strike, dip & rake son particulares para cada evento y el valor de estos mismos se obtuvo de la web del USGS.

Tabla 6. Parámetros de entrada utilizados.

Archivo params.dat	α [-]	7,9
	β [-]	4,6
	ρ [-]	3,1
	Q_{So} [-]	600
	Q_{Po} [-]	1350
	$\Delta\sigma$ [Bar]	100
Archivo fuente.dat	Slip [m]	4
	Strike [°]	Variable
	Dip [°]	Variable
	Rake [°]	Variable
	Ancho [m]	10000
	Largo [m]	10000
	Tiempo ruptura [s]	1

Para la obtención de las simulaciones, es ideal conocer el tipo de suelo en el cual se encuentra la estación. Sin embargo, si bien en el registro de eventos significativos algunas estaciones cuentan con su Caracterización Geofísica y/o Clasificación Empírica (Figuras 3-3 y 3-4), hay estaciones que no cuentan con dicha información.

Caracterización Geofísica

Ítem	Valor
Vs30	507 [m/s]
Fo	2.5 [Hz]
HVSRamp	3

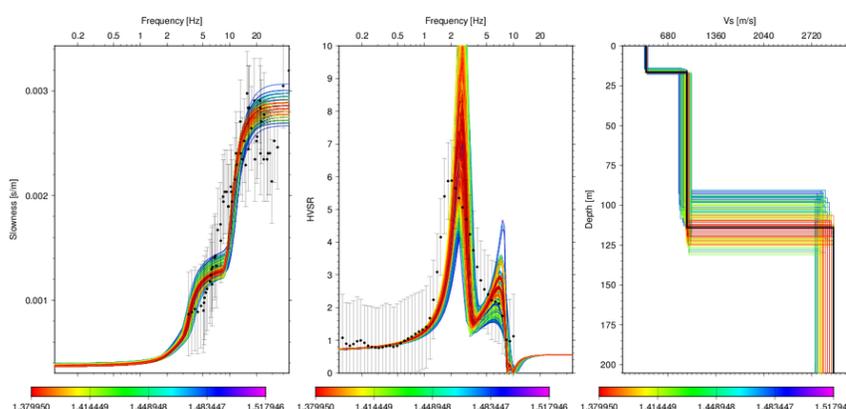


Figura 3-3. Caracterización geofísica del suelo.
Recuperado de (Centro Sismológico Nacional, s. f.-b).

Clasificación Empírica

Ítem	Valor
T*	sIV
P*	A

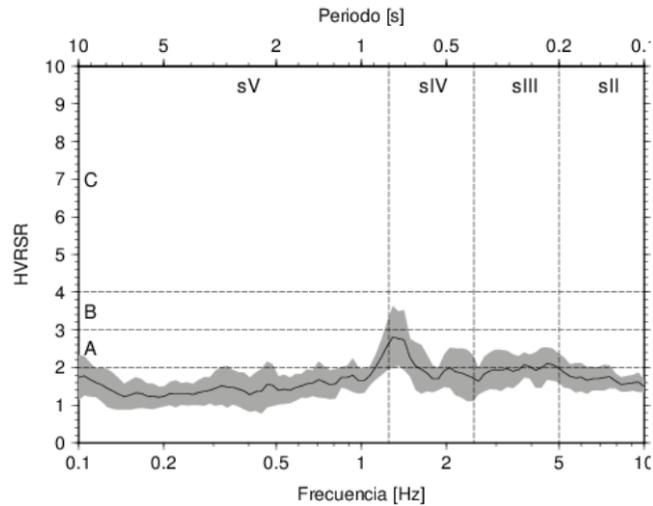


Figura 3-4. Clasificación empírica del suelo.
Recuperado de (Centro Sismológico Nacional, s. f.-b).

Para el modelo de función de transferencia se asignó un tipo de suelo a cada estación considerando:

Tabla 7. Criterio para clasificación del tipo de suelo.

Información de la estación		Tipo de suelo para simulación
Si no hay información		Roca
Si se conoce el V_{S30}	$V_{S30} > 800$	Tipo A
	$400 < V_{S30} \leq 800$	Tipo B
	$V_{S30} \leq 400$	Tipo C
Si no se conoce el V_{S30}	$P^* = A$	Tipo A
	$P^* = B$	Tipo B
	$P^* = C$	Tipo C

Basado en los criterios mencionados, la información para las estaciones que fueron requeridas para las simulaciones se tiene en la Tabla 8. Considerando que para la modelación en roca se identificó el tipo de suelo con la letra R.

Tabla 8. Parámetros por estación sismológica. Considerando que R implica simulación en roca.

N.º	Estación	Longitud [°]	Latitud [°]	Elevación [m]	κ	Tipo de suelo
1	A01C	-70,80	-27,10	36	0,03	B
2	A01F	-70,40	-23,60	6	0,015	R
3	A01P	-69,30	-18,20	0	0,015	R
4	A02C	-70,80	-27,10	20	0,015	R
5	A02F	-70,40	-23,10	15	0,04	C
6	A03C	-70,80	-27,30	205	0,03	B
7	A03F	-70,40	-23,50	113	0,03	B
8	A03P	-69,20	-18,50	0	0,015	R
9	A04C	-70,40	-27,30	312	0,03	B
10	A04F	-70,40	-23,70	37	0,02	A
11	A04P	-69,70	-18,80	1855	0,03	B
12	A05C	-70,30	-27,40	376	0,04	C
13	A05F	-69,30	-22,90	1626	0,03	B
14	A05P	-70,30	-18,50	44	0,03	B
15	A06C	-70,30	-27,30	362	0,03	B
16	A06F	-69,70	-22,30	1293	0,015	R
17	A06P	-70,30	-18,50	29	0,03	B
18	A07C	-70,30	-27,40	405	0,03	B
19	A07F	-69,60	-21,60	844	0,015	R
20	A08C	-70,30	-27,40	380	0,02	A
21	A08F	-68,00	-23,20	2504	0,015	R
22	A08P	-70,30	-18,50	0	0,02	A
23	A09C	-70,80	-28,60	409	0,015	R
24	A09P	-70,30	-18,50	126	0,02	A
25	A10C	-70,80	-28,60	387	0,015	R
26	A10F	-70,50	-25,40	38	0,03	B
27	A11C	-70,80	-28,60	533	0,015	R
28	A11F	-70,10	-21,40	20	0,04	C
29	A11P	-70,30	-18,50	287	0,02	A
30	A12C	-70,80	-28,60	542	0,015	R

31	A12F	-68,90	-22,50	2290	0,015	R
32	A12P	-70,10	-18,50	624	0,03	B
33	A13C	-71,20	-28,50	23	0,015	R
34	A13F	-70,20	-22,10	10	0,015	R
35	A13P	-70,20	-18,50	251	0,03	B
36	A14C	-70,60	-26,30	86	0,015	R
37	A14F	-70,20	-22,10	20	0,015	R
38	A14P	-70,30	-18,40	45	0,03	B
39	A15C	-70,00	-26,40	832	0,015	R
40	A15F	-70,40	-23,70	20	0,015	R
41	A15P	-70,30	-18,50	8	0,04	C
42	A16C	-69,60	-26,20	2146	0,03	B
43	A16F	-70,20	-22,10	69	0,015	R
44	A16P	-70,20	-19,20	92	0,04	C
45	A17C	-69,90	-26,80	1591	0,015	R
46	A17F	-68,90	-22,50	2272	0,015	R
47	A17P	-69,10	-18,90	0	0,015	R
48	A18C	-70,90	-27,50	12	0,02	A
49	A18F	-68,90	-22,50	2263	0,04	C
50	A18P	-69,60	-18,20	0	0,015	R
51	A19C	-70,10	-27,80	955	0,03	B
52	A19F	-70,40	-23,50	102	0,03	B
53	A19P	-70,30	-18,50	1266	0,03	B
54	A20C	-69,30	-27,60	3747	0,015	R
55	A20F	-68,90	-22,50	2296	0,04	C
56	A21C	-71,10	-28,10	15	0,015	R
57	A21F	-70,50	-25,40	10	0,015	R
58	A22C	-70,50	-28,80	800	0,03	B
59	A22F	-68,20	-22,90	2450	0,015	R
60	A23C	-70,20	-29,00	1290	0,03	B
61	A23F	-68,70	-22,30	2534	0,03	B
62	A24C	-70,50	-29,10	1605	0,04	C
63	A24F	-70,30	-23,60	536	0,02	A

64	A25C	-70,90	-29,00	813	0,02	A
65	A25F	-68,30	-21,20	3756	0,015	R
66	A26C	-71,00	-29,20	780	0,015	R
67	A26F	-70,50	-25,10	18	0,015	R
68	A27C	-70,30	-27,40	398	0,03	B
69	A28C	-70,30	-27,50	485	0,03	B
70	A28F	-69,50	-25,10	2706	0,015	R
71	A29C	-70,30	-27,40	464	0,03	B
72	A29F	-70,10	-22,20	1209	0,015	R
73	A30C	-70,80	-27,10	41	0,02	A
74	AC01	-70,60	-26,10	346	0,015	R
75	AC02	-69,10	-26,80	3980	0,015	R
76	AC04	-71,10	-28,20	249	0,02	A
77	AC05	-70,30	-28,80	1287	0,015	R
78	AC06	-70,40	-27,40	380	0,02	A
79	AF01	-68,20	-23,00	2442	0,015	R
80	AP01	-70,30	-18,40	31	0,058	C
81	C01O	-71,24	-29,88	77	0,03	B
82	C02O	-70,10	-30,00	0	0,015	R
83	C03O	-70,70	-30,00	619	0,015	R
84	C04O	-71,26	-29,94	30	0,03	B
85	C05O	-71,30	-30,80	215	0,015	R
86	C06O	-71,20	-29,90	144	0,015	R
87	C07O	-71,20	-31,60	319	0,03	B
88	C08O	-71,00	-31,19	922	0,02	A
89	C09O	-71,20	-29,50	640	0,03	B
90	C10O	-71,10	-30,20	1032	0,02	A
91	C11O	-71,00	-30,70	441	0,03	B
92	C12O	-71,50	-31,40	273	0,015	R
93	C13O	-71,50	-30,60	203	0,03	B
95	C14O	-70,50	-30,10	1227	0,04	C
96	C15O	-71,10	-29,40	284	0,015	R
97	C16O	-71,30	-29,90	34	0,04	C

98	C17O	-71,20	-29,90	73	0,03	B
99	C18O	-70,70	-30,30	1239	0,04	C
100	C19O	-71,40	-30,10	71	0,02	A
101	C20O	-71,34	-29,97	52	0,03	B
102	C21O	-71,50	-31,90	0	0,03	B
103	C22O	-71,40	-30,00	36	0,02	A
104	C23O	-71,00	-31,80	458	0,03	B
105	C24O	-71,30	-29,96	11	0,03	B
106	C26O	-71,50	-30,30	10	0,04	C
107	C27O	-70,70	-29,40	1683	0,015	R
108	C28O	-71,30	-29,30	50	0,04	C
109	C29O	-71,20	-30,60	197	0,03	B
110	C32O	-70,70	-30,90	903	0,03	B
111	C33O	-71,30	-29,90	30	0,03	B
112	CO01	-70,10	-30,00	2157	0,015	R
113	CO02	-71,00	-31,20	1190	0,03	B
114	CO03	-70,70	-30,80	1003	0,005	B
115	CO04	-71,00	-32,00	2401	0,015	R
116	CO05	-71,20	-29,90	101	0,03	B
117	CO06	-71,60	-30,70	246	0,02	A
118	GO01	-69,20	-19,70	3809	0,057	C
119	GO02	-69,60	-25,20	2550	0,064	R
120	GO03	-70,20	-27,60	730	0,033	A
121	GO04	-70,80	-30,20	2076	0,048	C
122	HMBCX	-69,90	-20,30	1152	0,03	B
123	PB01	-69,50	-21,00	900	0,02	A
124	PB02	-69,90	-21,30	1015	0,015	R
125	PB03	-69,80	-22,00	1460	0,016	R
126	PB05	-70,20	-22,90	1150	0,009	R
127	PB06	-69,60	-22,70	1440	0,006	A
128	PB08	-69,20	-20,10	3060	0,015	R
129	PB09	-69,20	-21,80	1530	0,015	R
130	PB11	-69,70	-19,80	1400	0,02	A

131	PB12	-70,30	-18,60	908	0,051	R
132	PB15	-69,50	-23,20	1830	0,012	B
133	PB19	-69,30	-23,90	2480	0,015	R
134	PX03	-69,60	-20,40	990	0,015	R
135	T01A	-70,10	-20,30	170	0,04	C
136	T02A	-70,10	-20,30	86	0,04	C
137	T03A	-70,10	-20,20	11	0,03	B
138	T04A	-70,10	-20,20	60	0,02	A
139	T05A	-70,20	-20,20	31	0,025	A
140	T06A	-70,10	-20,20	33	0,02	A
141	T07A	-69,80	-20,30	1049	0,058	C
142	T08A	-70,10	-20,30	536	0,02	A
143	T09A	-70,20	-19,60	111	0,012	A
144	T10A	-69,80	-20,00	1107	0,038	C
145	T11A	-69,40	-19,30	2399	0,053	B
146	T12A	-69,20	-20,10	2762	-0,006	A
147	T13A	-69,30	-20,50	1343	0,058	C
148	T15A	-70,10	-20,20	692	0,02	A
149	T16A	-70,20	-20,50	0	0,02	A
150	T19A	-70,10	-20,30	524	0,02	A
151	T20A	-69,50	-19,90	0	0,03	B
152	T23A	-70,00	-20,90	650	0,015	R
153	TA01	-70,20	-20,60	75	0,067	A
154	TA02	-70,10	-20,30	86	0,063	B

Con la información definida sobre las estaciones y eventos, se trabajó con una base de datos robusta que incluye coordenadas y parámetros reales correspondientes al hipocentro, magnitud y estaciones de cada evento a simular. Además, para obtener las figuras resultantes, se procesó dicha base de datos utilizando principalmente Python.

3.4 Bondad del ajuste

Para chequear los resultados obtenidos del GOF, se deben observar las 3 componentes y su tendencia o cercanía al eje horizontal nulo. Para cada componente se realiza la clasificación de la Tabla 9.

Tabla 9. Clasificación de la bondad del ajuste para cada componente por evento.

Condiciones por cumplir	Clasificación del ajuste
$si \begin{cases} \min(B(T_k)^Y) \geq -1,5 \\ \max(B(T_k)^Y) \leq 1,5 \\ promedio(B(T_k)^Y) \leq 1 \end{cases}$	Bueno
$si \begin{cases} \min(B(T_k)^Y) \geq -2,0 \\ \max(B(T_k)^Y) \leq 2,0 \\ promedio(B(T_k)^Y) \leq 1,5 \end{cases}$	Regular
Si no	Deficiente

Luego, para cada evento se tendrían las 3 componentes clasificadas según lo mencionado anteriormente. Por último, se hace una clasificación global del evento de acuerdo con la Tabla 10.

Tabla 10. Clasificación del ajuste global por evento.

Clasificación de las componentes	Clasificación global
Al menos 2 componentes con ajuste bueno	Bueno
Al menos 2 componentes con ajuste regular	Regular
Al menos 2 componentes con ajuste deficiente	Deficiente
3 componentes con ajustes diferentes entre sí	Regular

3.5 Aceleración máxima

Se analizarán las máximas amplitudes de nuestras simulaciones en función de la distancia hipocentral para cada uno de los 38 eventos de este estudio. En cada serie de tiempo sintética se obtiene la máxima amplitud absoluta o también conocida como Peak Ground Acceleration (PGA).

Como se mencionó en la sección 2.5 para evaluar la Ecuación 7 es necesario evaluar las Ecuaciones 8, 9 y 10. De acuerdo con la bibliografía consultada, los parámetros que se consideraron se exponen en la Tabla. Además, para la magnitud de momento se considerarán los valores 5,5 y 6,5 para poder comparar los resultados obtenidos, tomando un radio (R) límite de 150 kilómetros.

Tabla 11. Coeficientes y parámetros para el cálculo de GMPE.

Valores recuperados de Idini et al. (2017).

[*] Para estaciones simuladas en roca, sitio A, B y C, respectivamente.

Coeficiente	Valor	Parámetro	Valor
c_1	-2,8548	M_r	5
c_2	0,7741		
c_3	-0,97558	$S_T^*[*]$	0; -0,322; -0,109 y -0,095
c_4	0,1		
c_5	-0,00174	$V_{S30}[*]$	2000, 1400, 600 y 200
c_6	5		
c_7	0,35	V_{ref}	1530 [m/s]
c_9	-0,03958		

4. Resultados

Se realizó la simulación de 38 eventos sísmicos, dichos eventos se presentan en la Tabla 12. Cabe destacar que las columnas de longitud y latitud corresponden a las coordenadas del hipocentro. Además, la cantidad de estaciones se refiere al número de estaciones efectivamente consideradas para la simulación.

Tabla 12. Eventos simulados.

N.º	Fecha y hora	Latitud [°]	Longitud [°]	Profundidad [km]	Mw	Cantidad de estaciones
1	17-03-2014 5:11	-19,928	-70,944	28	6,4	9
2	22-03-2014 12:59	-19,836	-71,384	32	6,2	6
3	23-03-2014 18:20	-19,794	-70,943	34	6,3	10
4	03-04-2014 1:58	-20,290	-70,613	26	6,5	9
5	03-04-2014 5:26	-20,799	-70,675	30	6,4	8
6	04-04-2014 1:37	-20,622	-70,605	33	6,3	8
7	07-04-2014 13:43	-20,131	-70,905	36	5,7	8
8	11-04-2014 0:01	-20,710	-70,653	37	6,2	16
9	13-07-2014 20:54	-20,235	-70,312	36	5,5	15
10	23-08-2015 23:10	-29,722	-71,246	50	5,7	16
11	26-09-2015 2:51	-30,794	-71,417	41	6,3	18
12	03-10-2015 6:26	-30,368	-71,371	34	5,9	18
13	05-10-2015 16:33	-30,35	-71,466	29	5,9	18
14	07-11-2015 10:53	-30,719	-71,367	48	5,7	16
15	21-11-2015 23:05	-30,606	-71,791	35	5,8	18
16	27-11-2015 21:00	-24,779	-70,546	37	6,2	8
17	08-12-2015 12:56	-30,844	-71,713	40	5,6	14
18	19-12-2015 19:25	-30,637	-71,308	50	5,8	18
19	08-01-2016 1:11	-30,674	-71,657	32	5,7	17
20	10-02-2016 0:33	-30,634	-71,649	37	6,3	21
21	05-06-2016 5:51	-29,322	-71,816	40	5,8	22
22	06-06-2016 13:16	-30,123	-71,484	37	5,5	20

23	18-04-2019 4:06	-29,378	-71,573	65	5,6	29
24	26-04-2019 6:22	-26,004	-70,752	50	5,5	16
25	03-12-2019 8:46	-18,532	-70,718	44	6,0	20
26	01-09-2020 4:30	-28,074	-71,209	36	6,3	21
27	01-09-2020 21:09	-27,975	-71,553	24	6,5	22
28	06-09-2020 1:16	-30,353	-71,542	30	6,3	25
29	11-09-2020 7:35	-21,363	-69,907	54	6,2	21
30	28-10-2020 14:53	-29,334	-71,199	60	5,8	31
31	21-11-2020 2:11	-30,915	-71,281	54	5,5	30
32	02-05-2021 6:57	-30,117	-71,561	38	5,8	31
33	04-07-2021 1:29	-28,771	-71,589	34	6,0	23
34	20-05-2022 9:07	-29,55	-71,88	49	5,7	18
35	28-07-2022 4:15	-21,945	-70,329	55	6,1	14
36	12-01-2023 6:19	-30,637	-71,311	54	5,5	31
37	04-04-2023 19:08	-27,463	-71,010	53	5,7	16
38	21-12-2023 16:21	-21,916	-70,248	55	5,6	11

De manera condensada, la distribución de eventos en cuanto a magnitud y profundidad se ilustra en las Figuras 4-1 y 4-2, respectivamente.

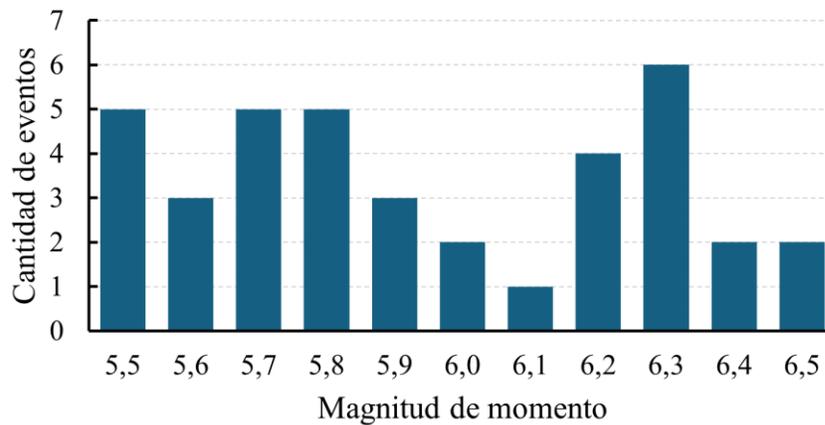


Figura 4-1. Distribución de eventos simulados según su magnitud de momento.

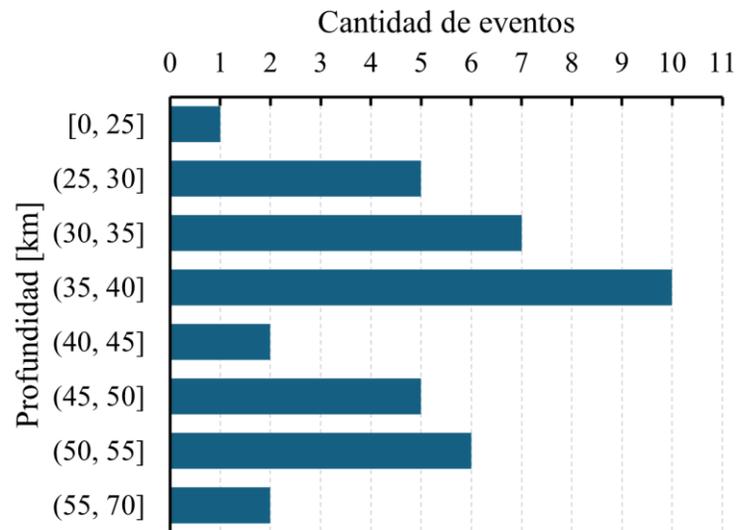


Figura 4-2. Distribución de eventos según su profundidad.

Para acotar el presente capítulo, se presentarán en detalle los resultados de tres eventos específicos, los cuales obtuvieron una buena aproximación de resultados: los eventos N.º 15, 17 y 28, conforme a la identificación asignada en la Tabla 12. Los resultados de los eventos restantes están disponibles en la sección de anexos.

4.1 Evento N.º 15

El hipocentro de este sismo se sitúa en la costa de la Cuarta Región, en consecuencia, las estaciones disponibles se encuentran en el continente, al este del mismo. En la Figura 4-3, que sigue a continuación se muestra la localización del evento y de las estaciones simuladas.

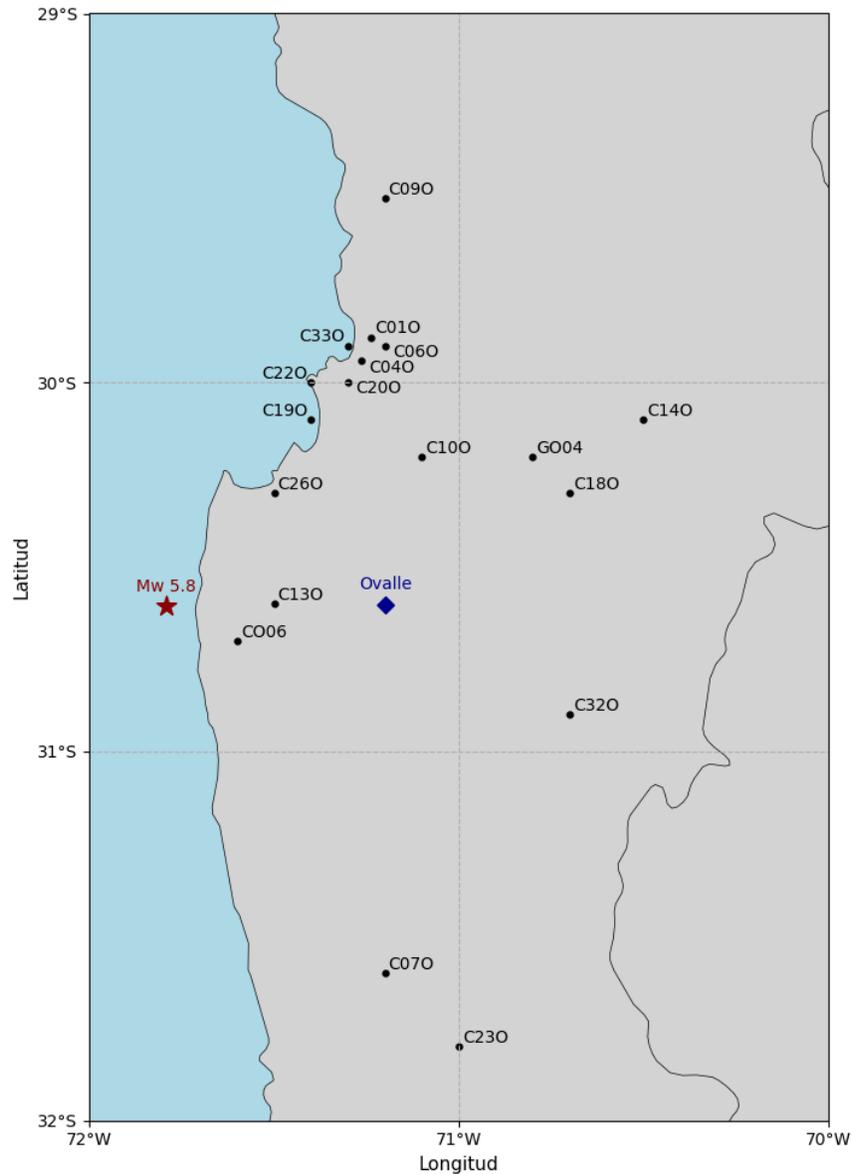


Figura 4-3. Distribución de estaciones evento N.º 15. Simbología:

- ★ – Magnitud de momento e hipocentro del evento.
- – Coordenadas de estaciones sismológicas.
- ◆ – Ciudad más cercana al hipocentro.

Los sismogramas obtenidos a partir de los datos reales observados (color azul) y lo simulado (color verde), junto a los espectros de respuesta considerando un amortiguamiento del 5% se calcularon para las tres componentes y se adjuntan a continuación.

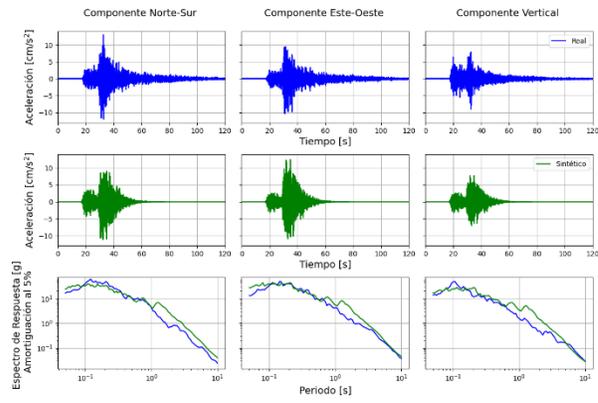


Figura 4-4. Estación C010.

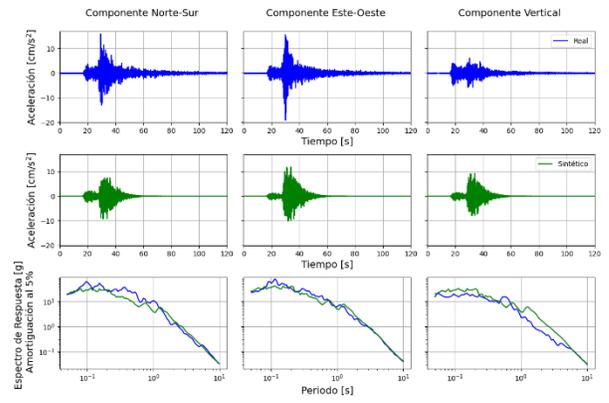


Figura 4-5. Estación C040.

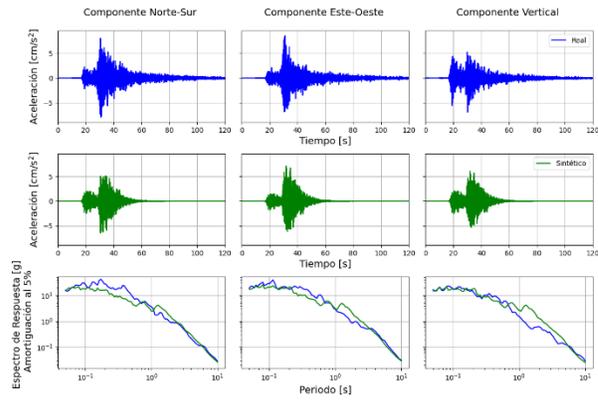


Figura 4-6. Estación C060.

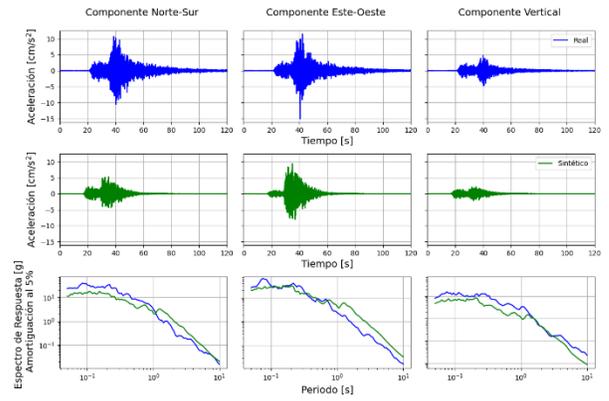


Figura 4-7. Estación C070.

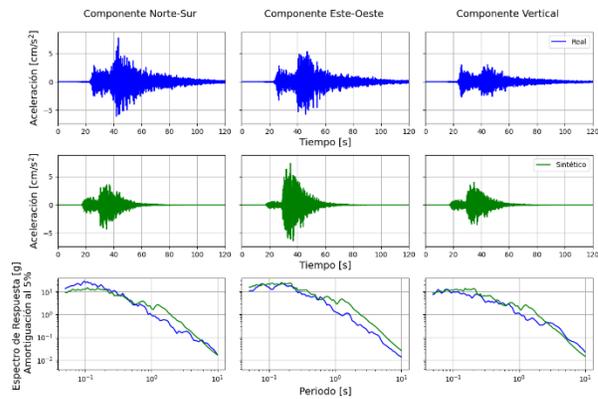


Figura 4-8. Estación C090.

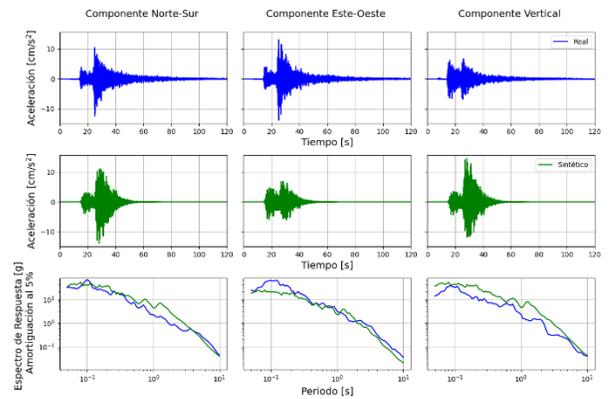


Figura 4-9. Estación C100.

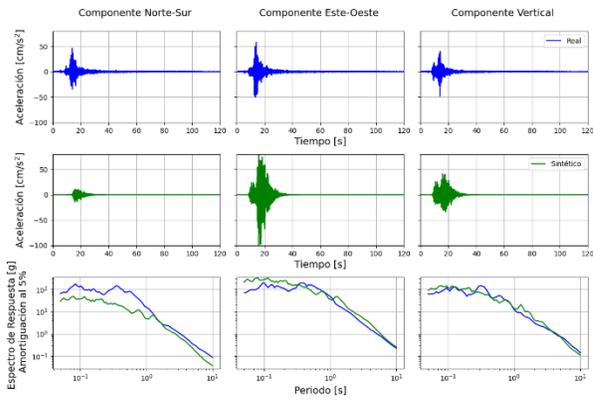


Figura 4-10. Estación C130.

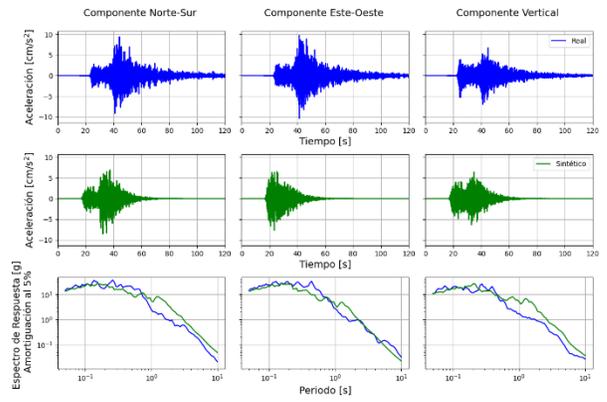


Figura 4-11. Estación C140.

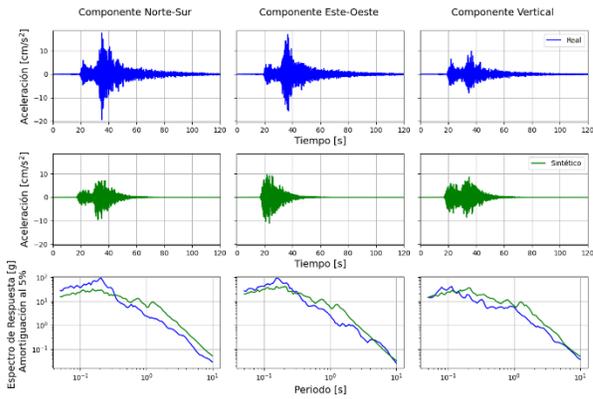


Figura 4-12. Estación C180.

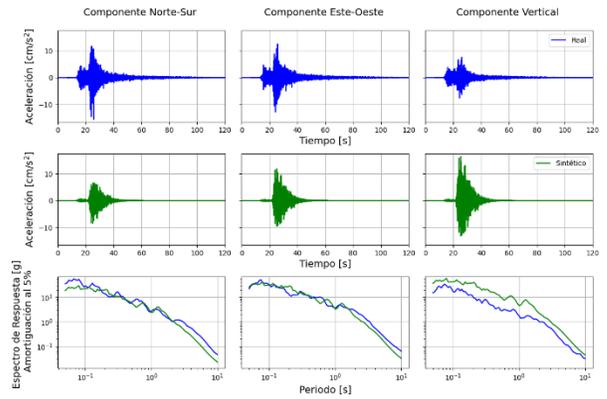


Figura 4-13. Estación C190.

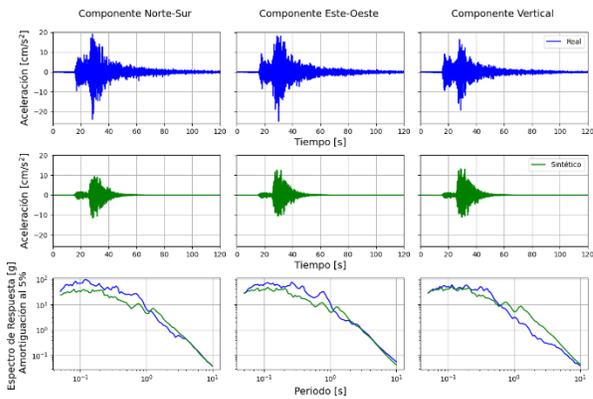


Figura 4-14. Estación C200.

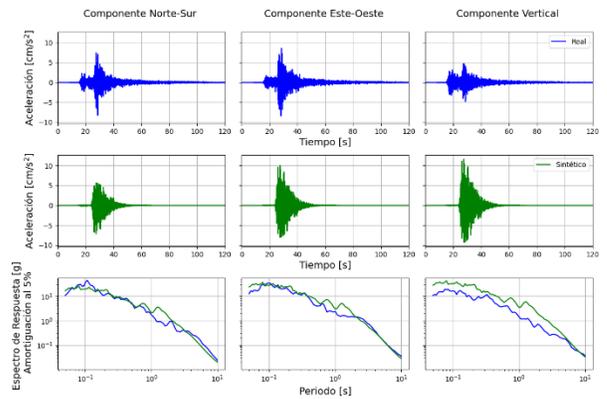


Figura 4-15. Estación C220.

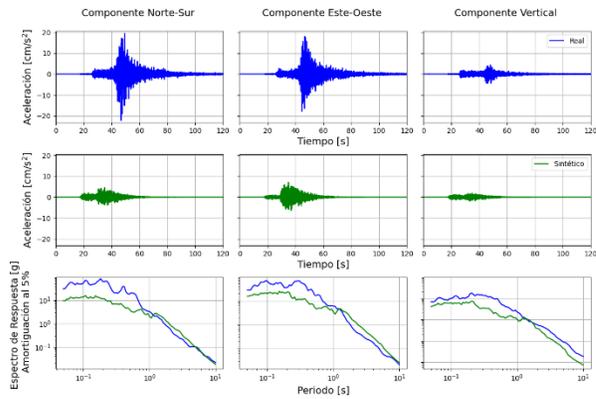


Figura 4-16. Estación C230.

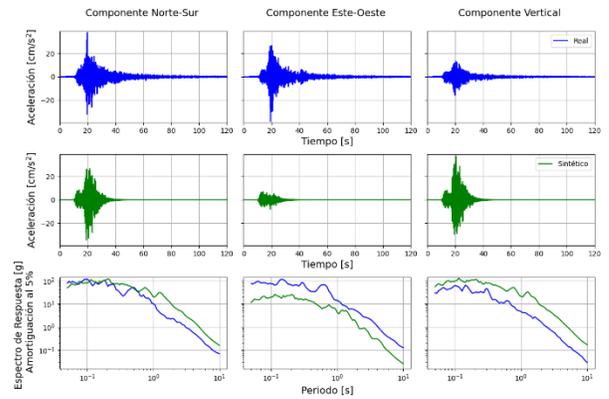


Figura 4-17. Estación C260.

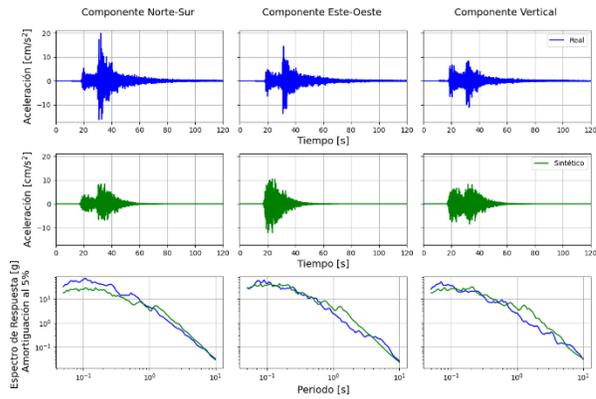


Figura 4-18. Estación C320.

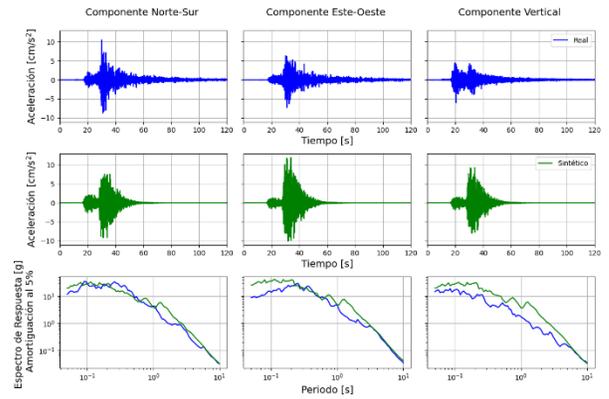


Figura 4-19. Estación C330.

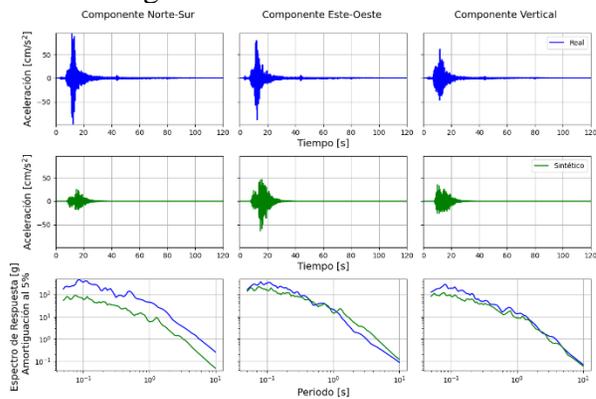


Figura 4-20. Estación CO06.

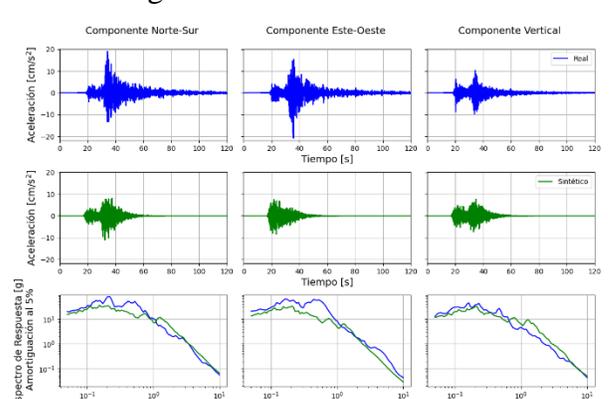


Figura 4-21. Estación GO04.

Luego, para medir la bondad del ajuste o sesgo de los datos se obtiene el GOF del evento.

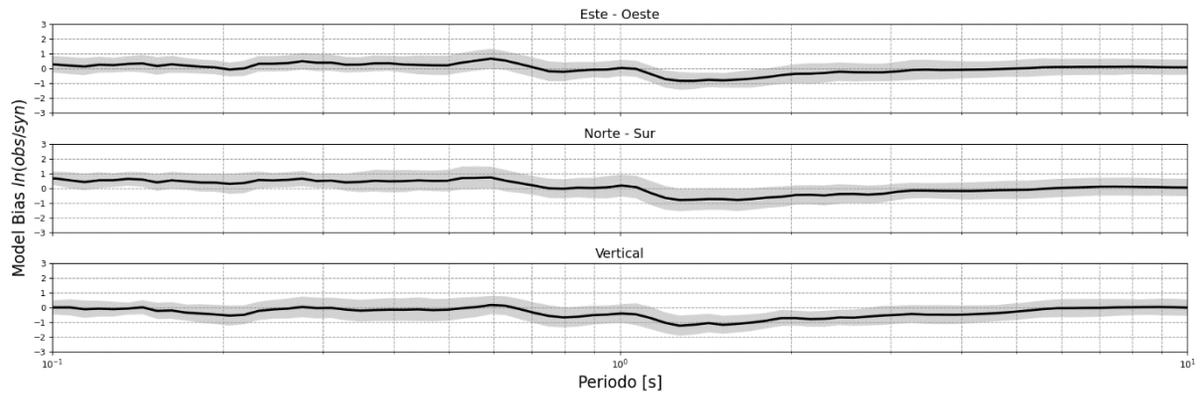


Figura 4-22. GOF del evento.

4.2 Evento N.º 17

El hipocentro de este evento sísmico se encuentra en la costa de la Cuarta Región, ligeramente al sur en comparación con el evento N.º 15. Como resultado, varias de las estaciones sismológicas consideradas en este caso son las mismas. Además, en comparación con el evento N.º 15, este sismo tiene una menor magnitud de momento.

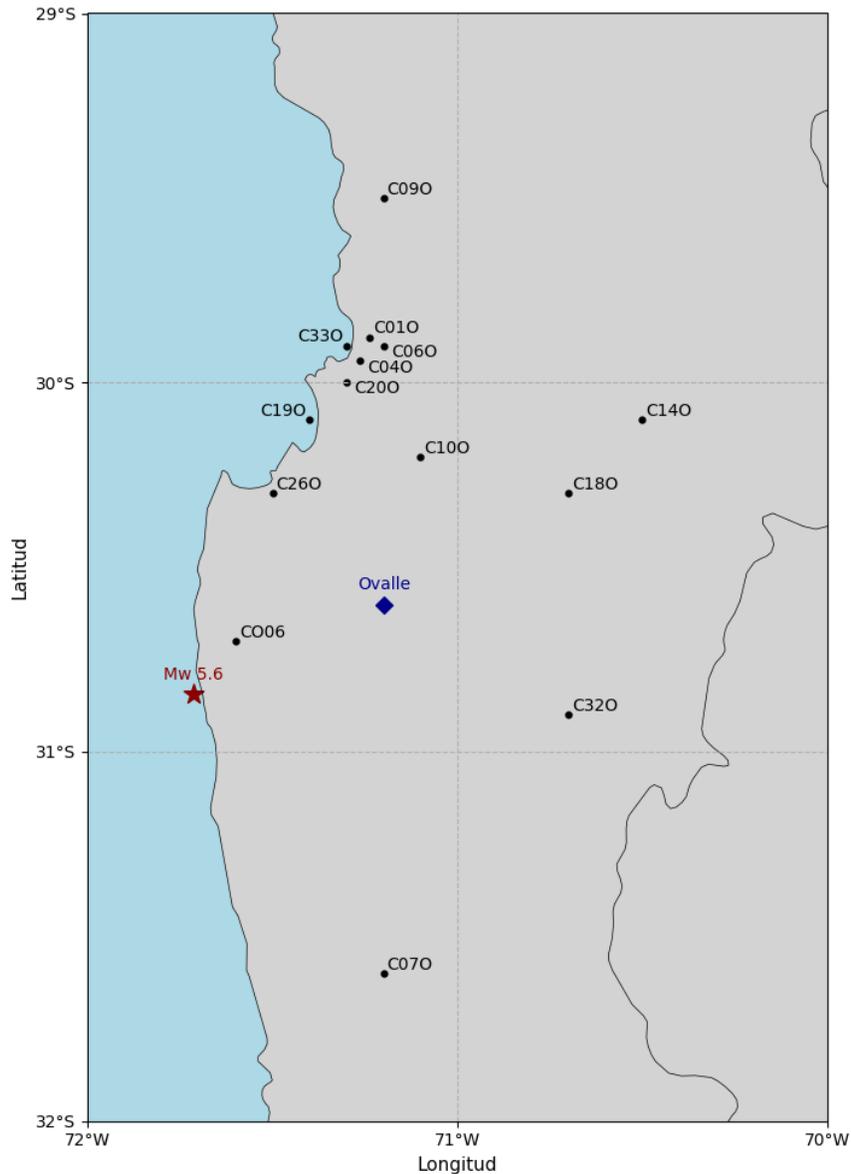


Figura 4-23. Distribución de estaciones evento N.º 17. Simbología:

- ★ – Magnitud de momento e hipocentro del evento.
- – Coordenadas de estaciones sismológicas.
- ◆ – Ciudad más cercana al hipocentro.

Los sismogramas obtenidos a partir de los datos reales observados (color azul) y lo simulado (color verde), junto a los espectros de respuesta considerando un amortiguamiento del 5% se calcularon para las tres componentes y se adjuntan a continuación.

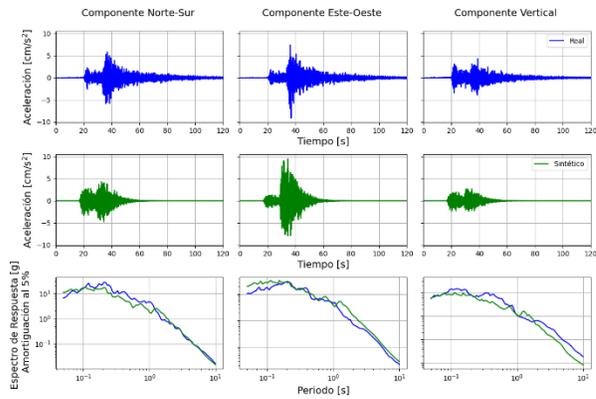


Figura 4-24. Estación C010.

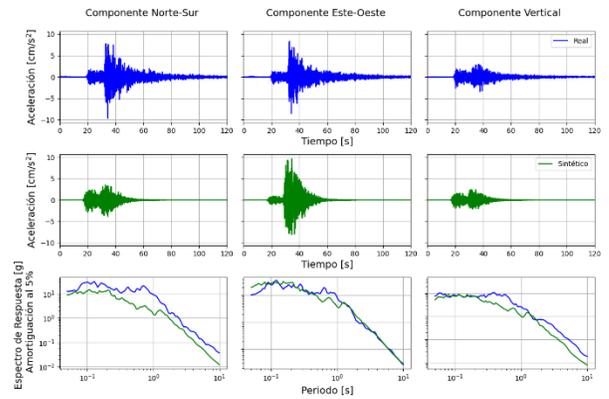


Figura 4-25. Estación C040.

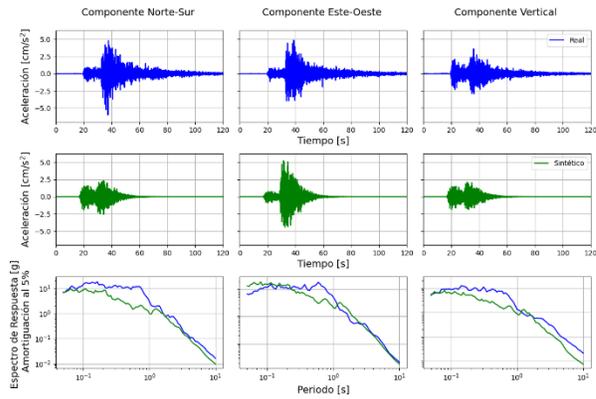


Figura 4-26. Estación C060.

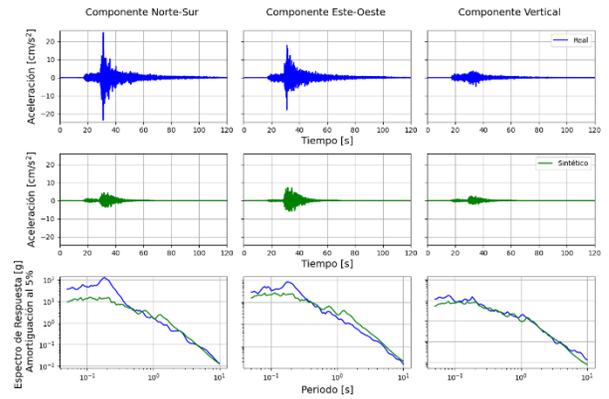


Figura 4-27. Estación C070.

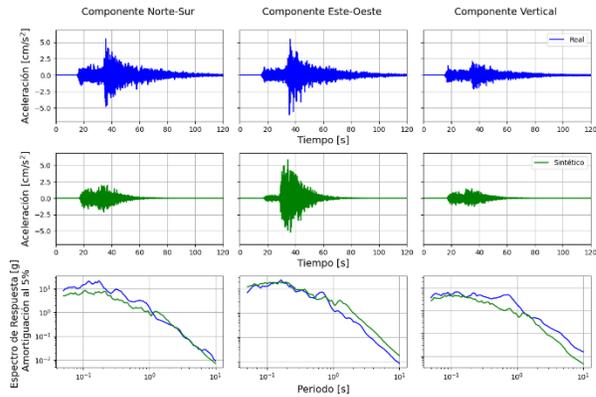


Figura 4-28. Estación C100.

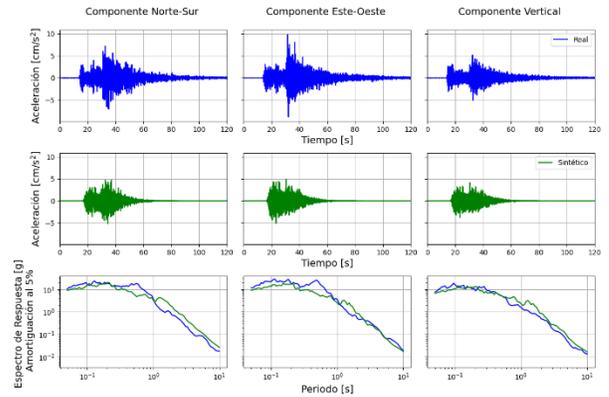


Figura 4-29. Estación C140.

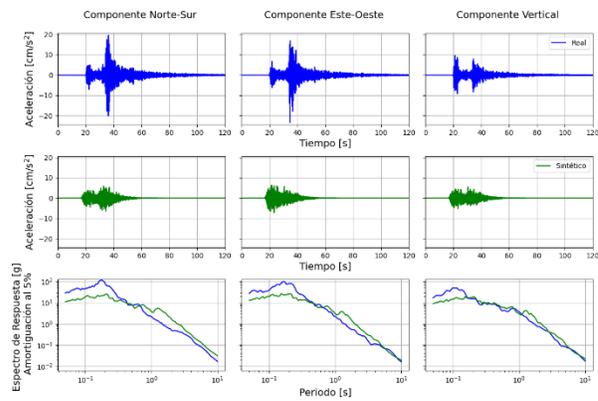


Figura 4-30. Estación C180.

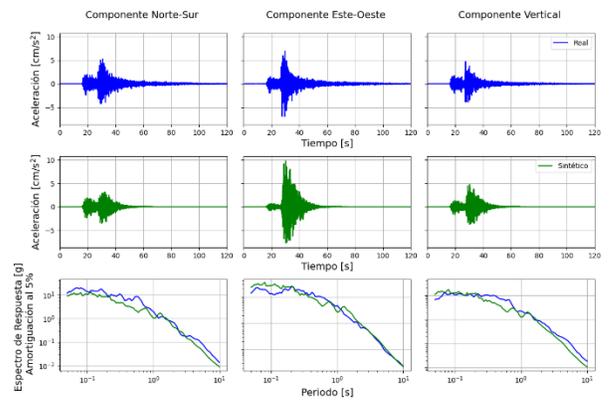


Figura 4-31. Estación C190.

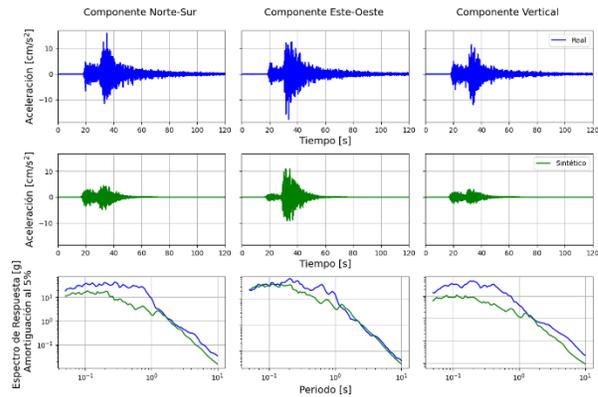


Figura 4-32. Estación C200.

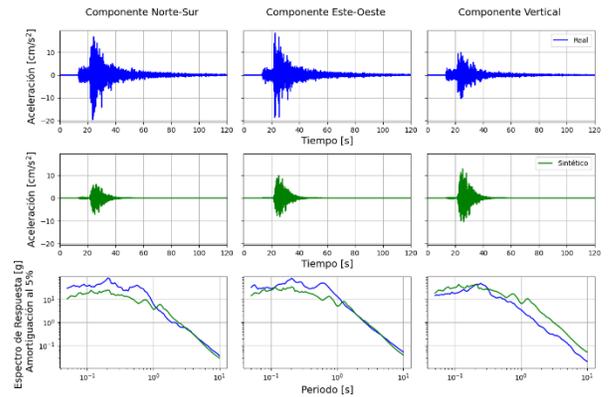


Figura 4-33. Estación C260.

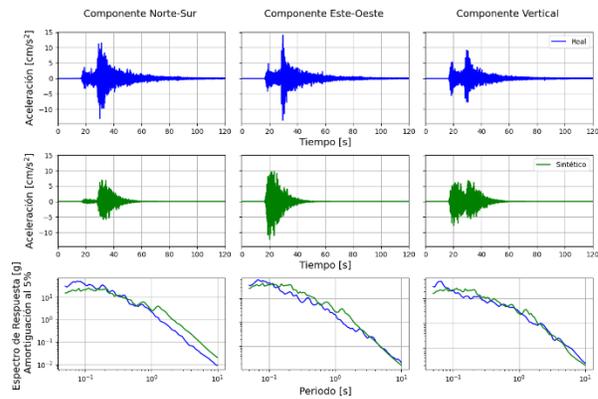


Figura 4-34. Estación C320.

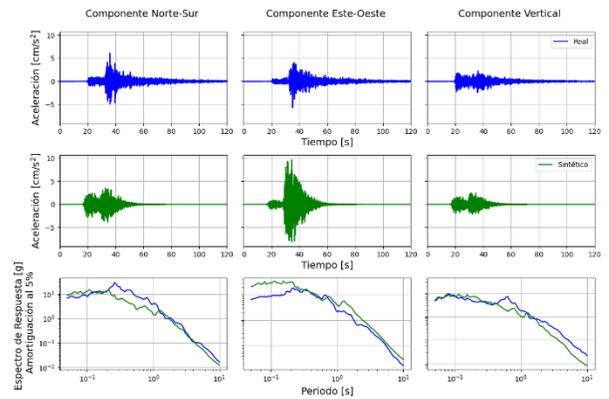


Figura 4-35. Estación C330.

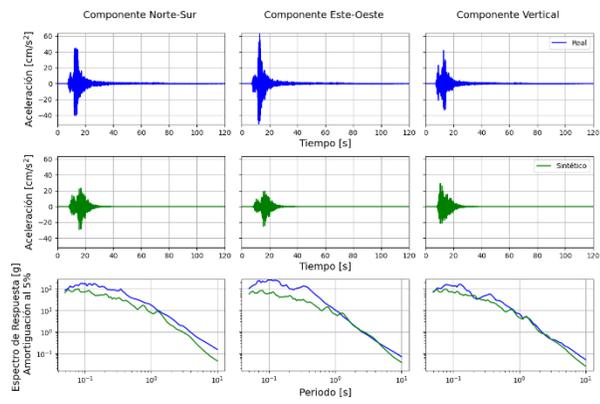


Figura 4-36. Estación CO06.

Luego, para medir la bondad del ajuste o sesgo de los datos se obtiene el GOF del evento.

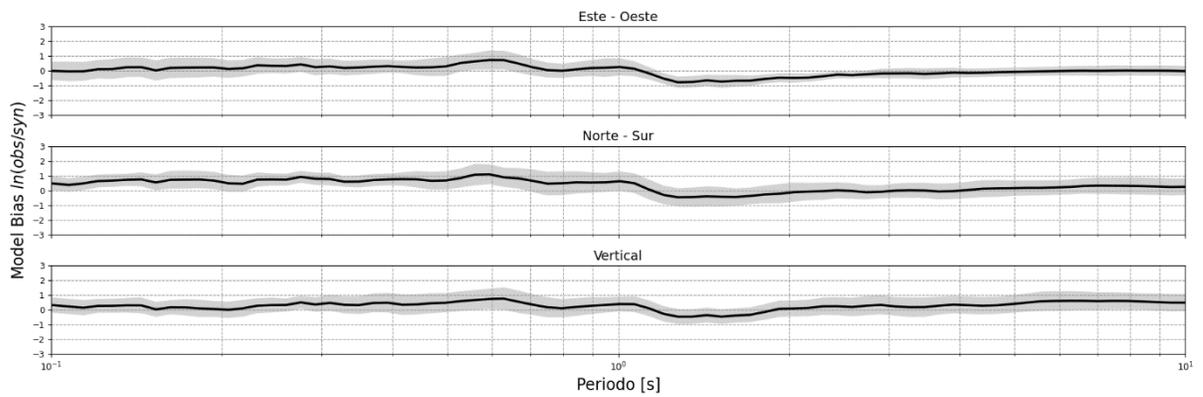


Figura 4-37. GOF del evento.

4.3 Evento N.º28

La localización del hipocentro se sitúa en tierra sólida, cercano a la costa y a los eventos anteriores. Posee una magnitud de 6,3 siendo la más alta de los tres casos que serán expuestos en detalle en el presente capítulo. Cabe mencionar que además posee una mayor cantidad de estaciones simuladas respecto a los casos anteriores.

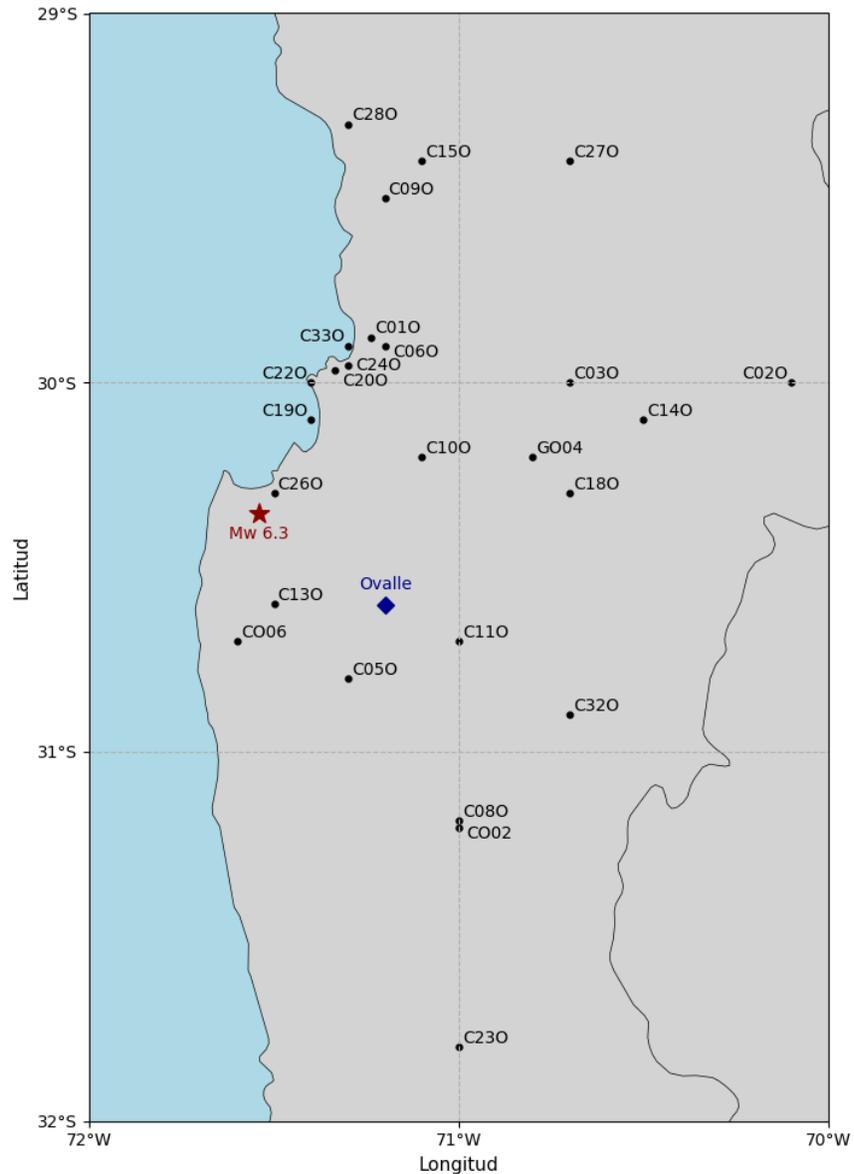


Figura 4-38. Distribución de estaciones evento N.º28. Simbología:

- ★ – Magnitud de momento e hipocentro del evento.
- – Coordenadas de estaciones sismológicas.
- ◆ – Ciudad más cercana al hipocentro.

Los sismogramas obtenidos a partir de los datos reales observados (color azul) y lo simulado (color verde), junto a los espectros de respuesta considerando un amortiguamiento del 5% se calcularon para las tres componentes y se adjuntan a continuación.

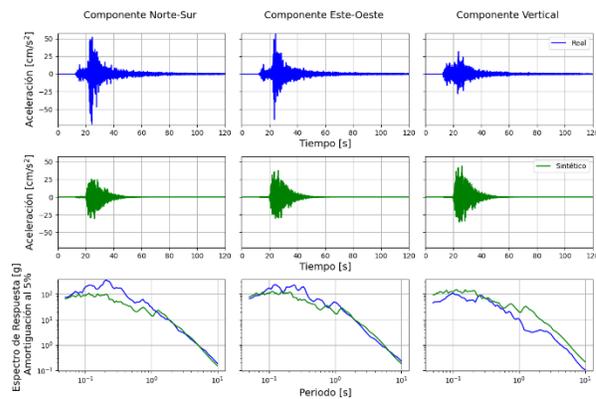


Figura 4-39. Estación C010.

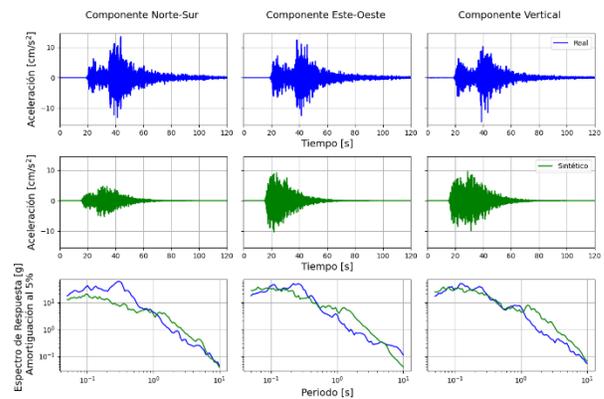


Figura 4-40. Estación C020.

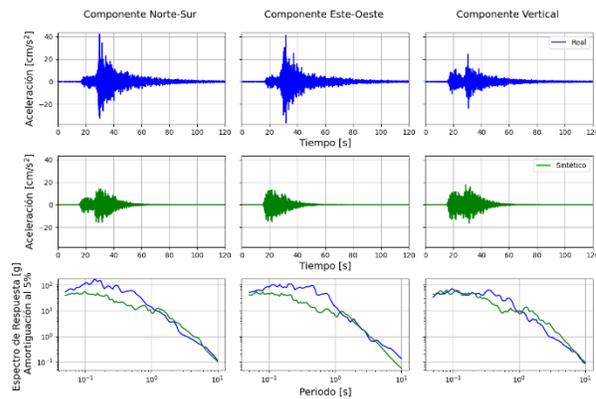


Figura 4-41. Estación C030.

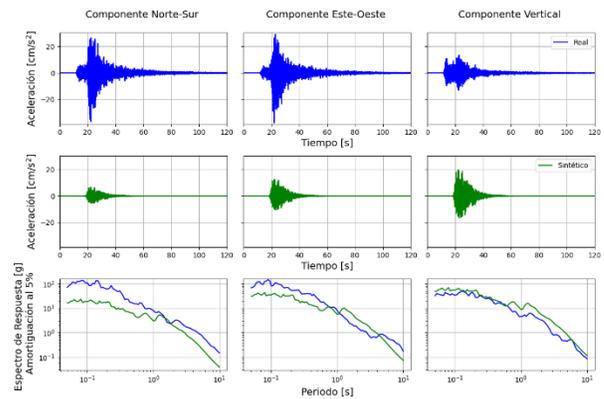


Figura 4-42. Estación C050.

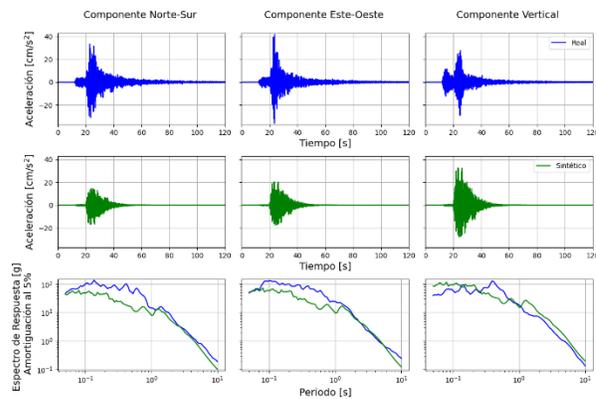


Figura 4-43. Estación C060.

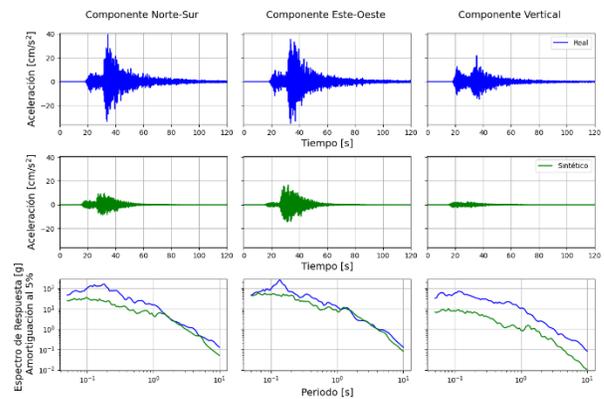


Figura 4-44. Estación C080.

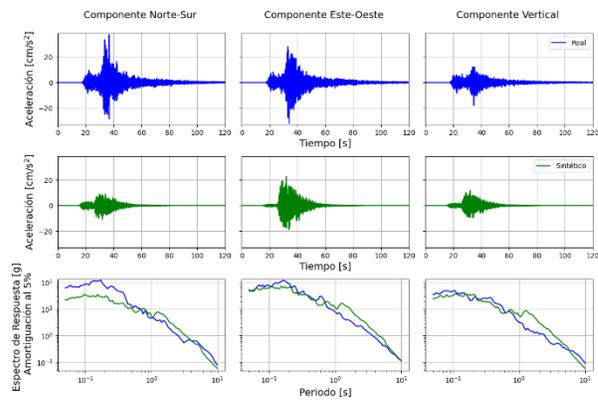


Figura 4-45. Estación C090.

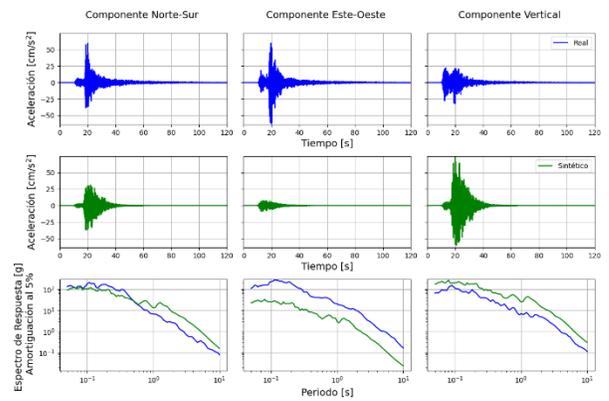


Figura 4-46. Estación C100.

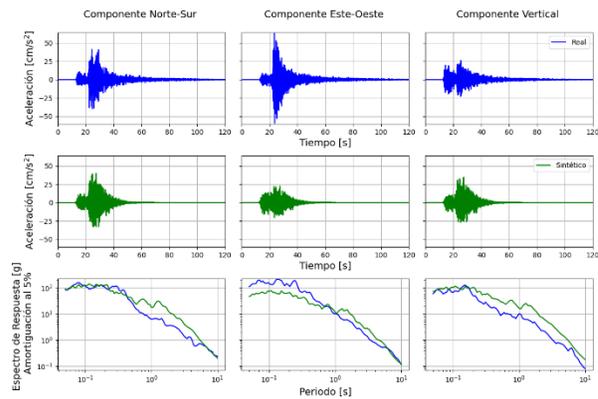


Figura 4-47. Estación C110.

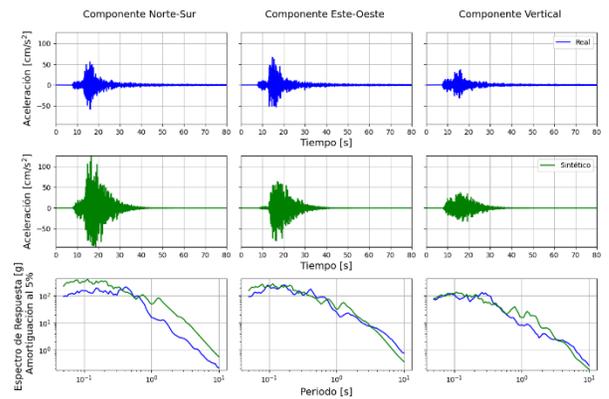


Figura 4-48. Estación C130.

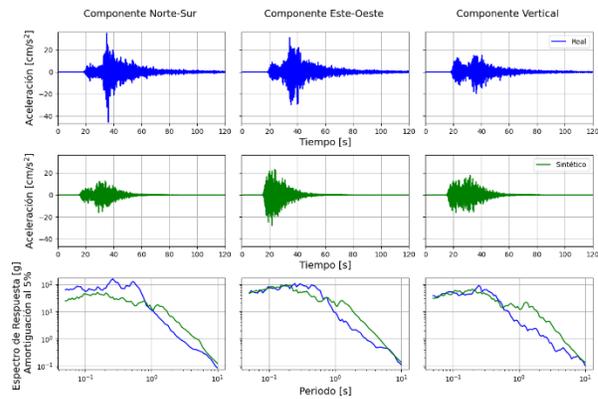


Figura 4-49. Estación C140.

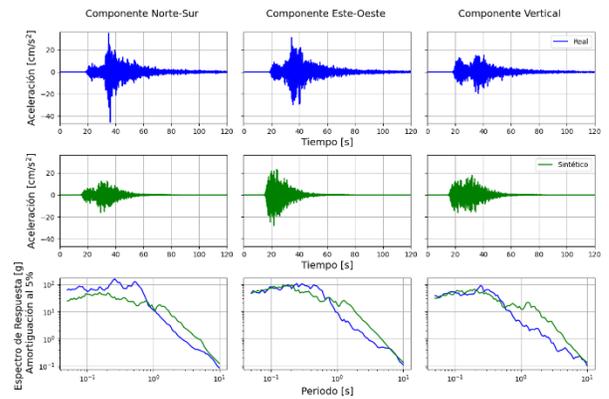


Figura 4-50. Estación C180.

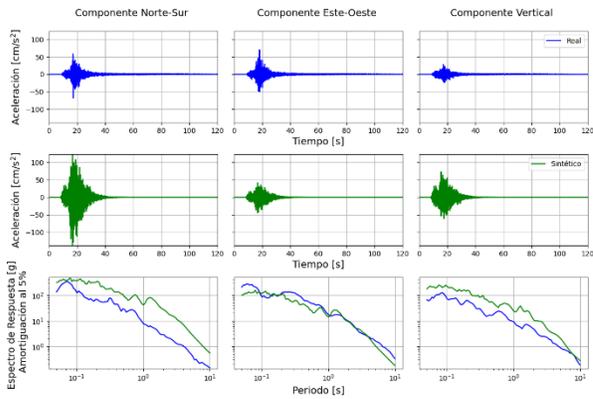


Figura 4-51. Estación C190.

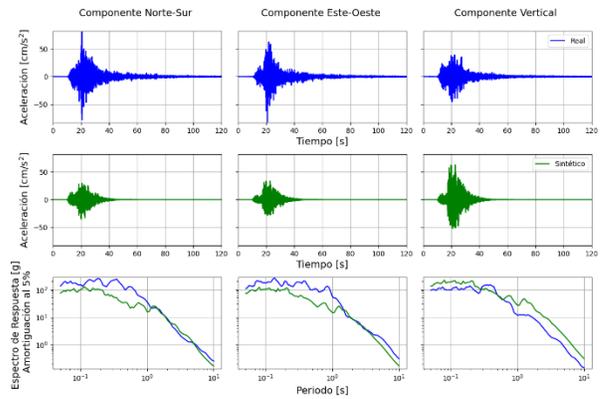


Figura 4-52. Estación C200.

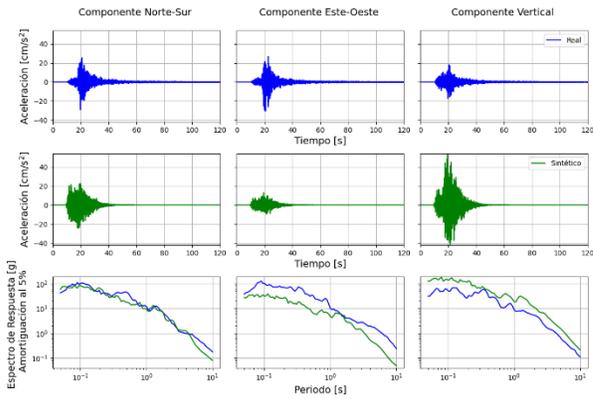


Figura 4-53. Estación C220.

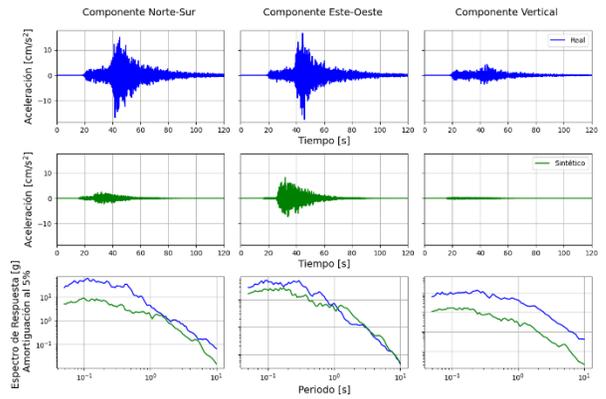


Figura 4-54. Estación C230.

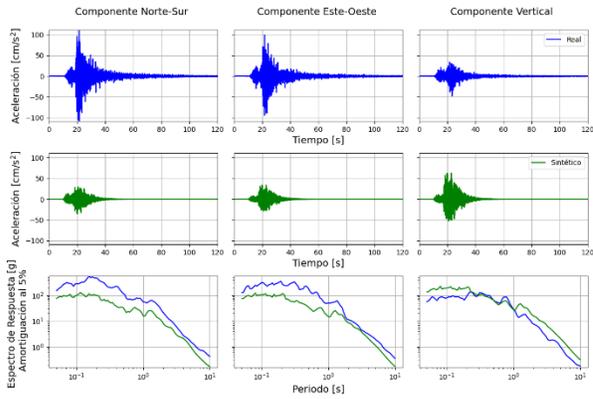


Figura 4-55. Estación C240.

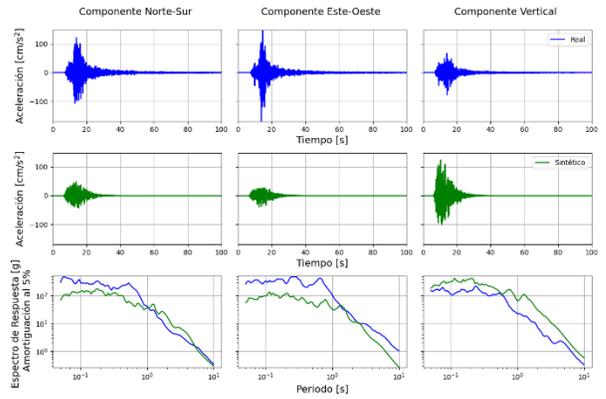


Figura 4-56. Estación C260.

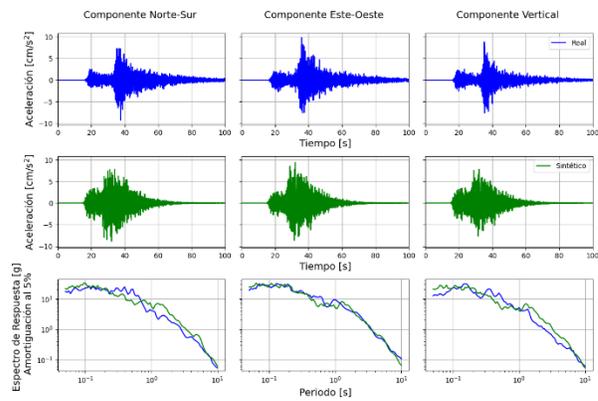


Figura 4-57. Estación C270.

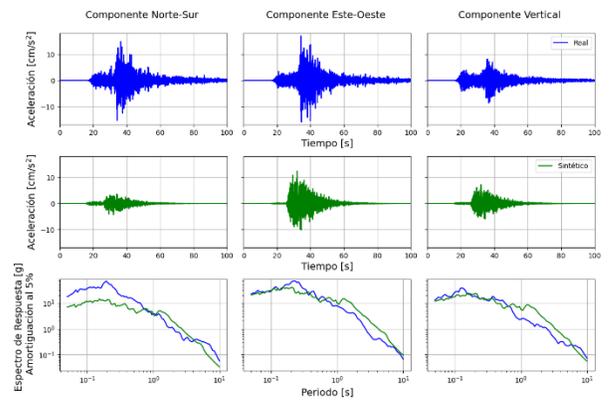


Figura 4-58. Estación C280.

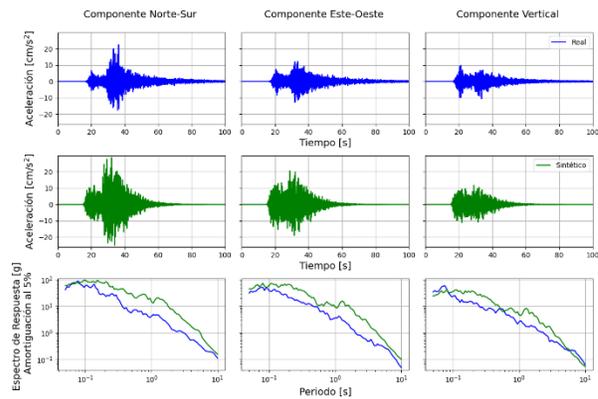


Figura 4-59. Estación C320.

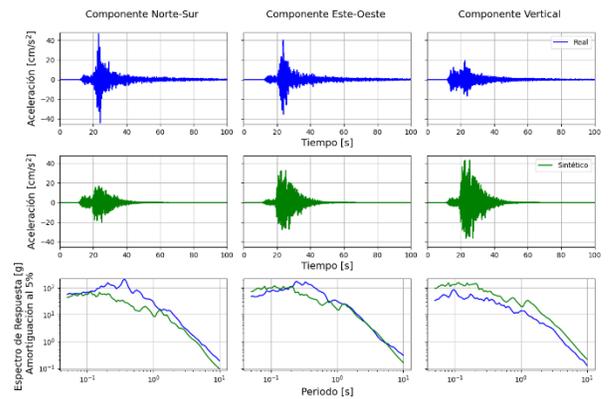


Figura 4-60. Estación C330.

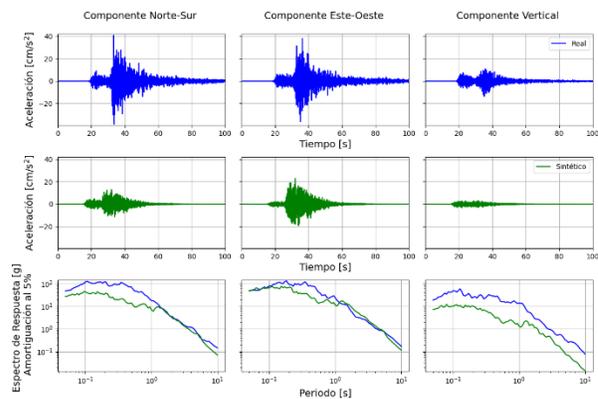


Figura 4-61. Estación CO02.

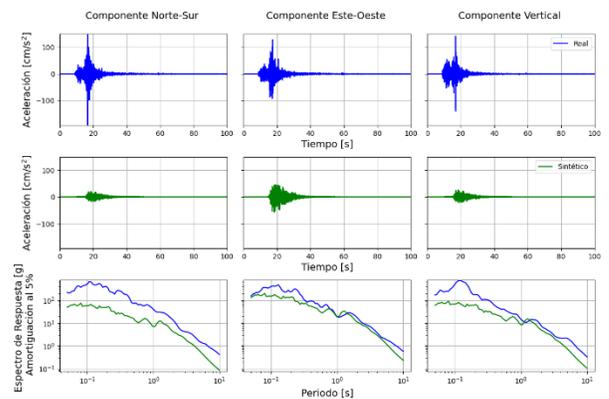


Figura 4-62. Estación CO06.

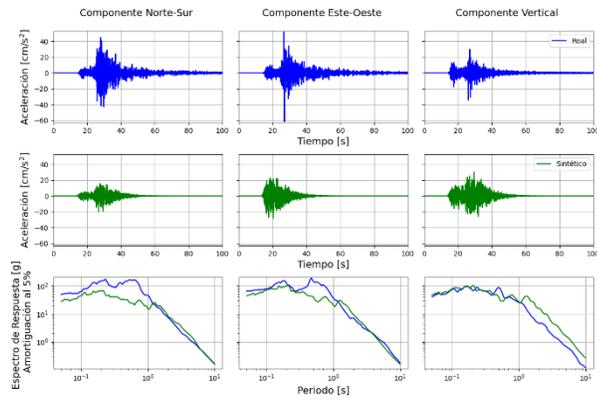


Figura 4-63. Estación GO04.

Luego, para medir la bondad del ajuste o sesgo de los datos se obtiene el GOF del evento.

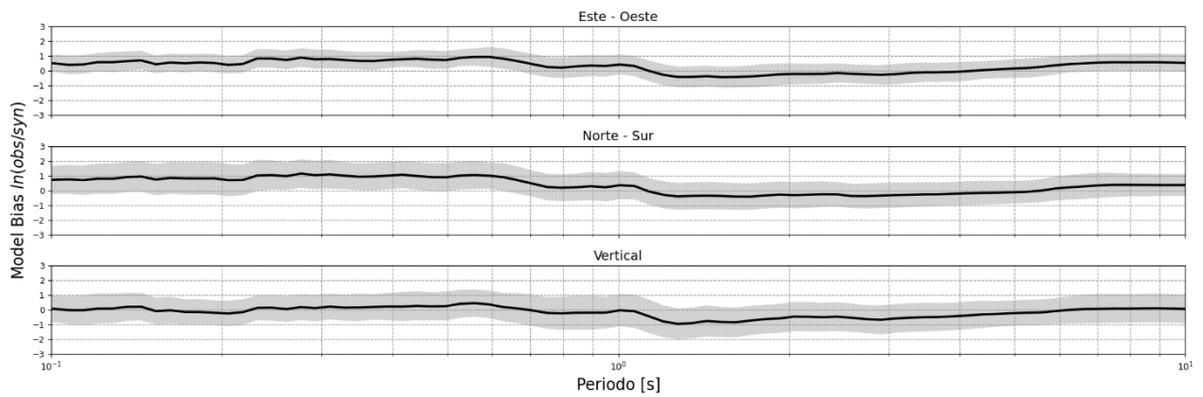


Figura 4-64. GOF del evento.

4.4 Resumen global de las simulaciones

Gráficamente, el total de simulaciones realizadas, junto con las estaciones utilizadas para estas, se ilustran en la Figura 4-65, mostrando la distribución geográfica y espacial de cada una.

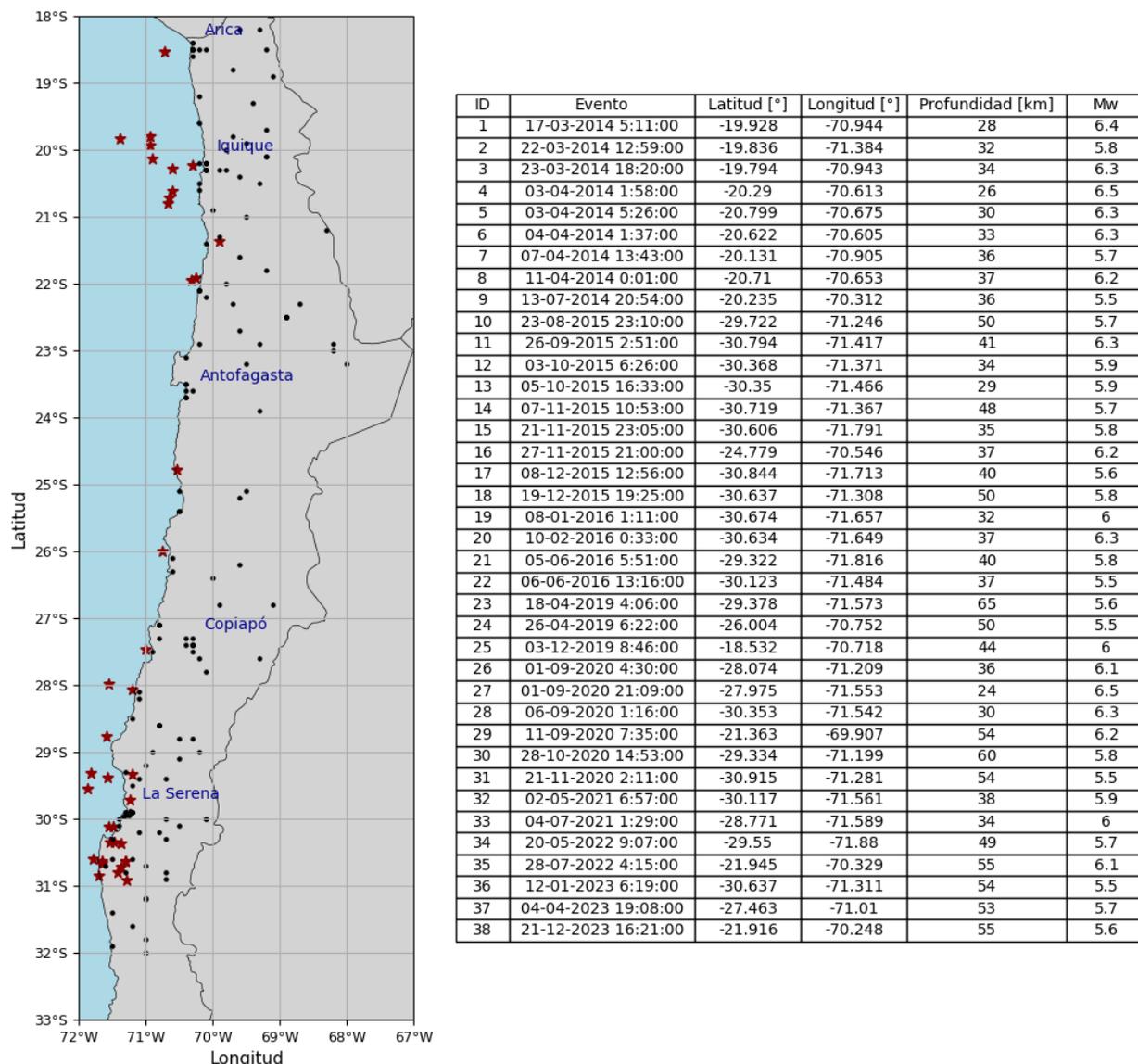


Figura 4-65. Distribución geográfica de eventos simulados y estaciones utilizadas. Simbología:

★ – Magnitud de momento e hipocentro del evento.

● – Coordenadas de estaciones sismológicas.

En base a los criterios mencionados en el capítulo Metodología (ver Tablas 9 y 10), la clasificación global y por componentes para cada evento se detalla en la Tabla 13.

Tabla 13. Clasificación de eventos a partir de la bondad del ajuste.

Las componentes Este-Oeste, Norte-Sur y Vertical están identificadas con las nomenclaturas EO, NS y Z, respectivamente. Asimismo, los ajustes se categorizan como bueno, regular y deficiente, representados por las letras B, R y D.

N.º	Componente	Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Clasificación componente	Clasificación global
1	EO	0,054	1,864	0,942	R	B
	NS	-0,498	1,484	0,520	B	
	Z	-0,811	0,843	0,024	B	
2	EO	0,649	2,548	1,480	D	R
	NS	0,434	1,840	1,103	R	
	Z	-0,565	1,279	-0,005	B	
3	EO	0,574	2,357	1,427	D	D
	NS	-0,117	2,147	0,886	D	
	Z	-0,716	0,787	0,077	B	
4	EO	-0,286	1,346	0,494	B	R
	NS	-0,450	1,705	0,647	R	
	Z	-1,599	-0,176	-0,782	R	
5	EO	-0,831	0,867	0,004	B	B
	NS	-0,834	0,666	-0,115	B	
	Z	-1,350	0,442	-0,611	B	
6	EO	-1,066	0,769	-0,093	B	B
	NS	-1,217	0,852	-0,158	B	
	Z	-2,214	0,064	-1,101	D	
7	EO	2,000	3,288	2,666	D	D
	NS	1,271	2,518	1,997	D	
	Z	0,048	1,400	0,651	B	
8	EO	0,493	2,175	1,392	D	D
	NS	0,548	2,128	1,268	D	
	Z	-1,153	0,640	-0,367	B	

9	EO	0,971	2,015	1,462	D	D
	NS	0,952	2,166	1,552	D	
	Z	0,199	1,097	0,720	B	
10	EO	-0,025	1,616	0,845	R	B
	NS	-0,827	1,003	0,173	B	
	Z	-0,668	0,914	0,126	B	
11	EO	0,309	2,026	1,360	D	D
	NS	0,794	2,922	1,908	D	
	Z	-0,174	1,627	0,797	R	
12	EO	0,336	1,746	1,017	R	B
	NS	-0,087	1,441	0,753	B	
	Z	-0,652	0,681	0,123	B	
13	EO	0,361	1,418	0,898	B	B
	NS	-0,066	1,111	0,587	B	
	Z	-0,252	0,641	0,254	B	
14	EO	-0,032	1,566	0,847	R	R
	NS	0,413	2,157	1,400	D	
	Z	-0,398	1,029	0,319	B	
15	EO	-0,836	0,680	0,029	B	B
	NS	-0,814	0,716	0,118	B	
	Z	-1,240	0,164	-0,315	B	
16	EO	-0,576	1,090	0,284	B	B
	NS	0,753	2,714	1,839	D	
	Z	-0,315	1,240	0,641	B	
17	EO	-0,771	0,735	0,007	B	B
	NS	-0,474	1,089	0,353	B	
	Z	-0,472	0,754	0,266	B	
18	EO	-0,099	1,779	0,897	R	R
	NS	-0,387	1,874	0,784	R	
	Z	-0,639	1,457	0,440	B	

19	EO	-0,904	0,684	0,100	B	B
	NS	-0,868	0,734	0,161	B	
	Z	-1,478	0,205	-0,395	B	
20	EO	-0,235	1,291	0,499	B	B
	NS	-0,081	1,525	0,727	R	
	Z	-1,037	0,488	-0,203	B	
21	EO	-0,902	1,298	0,367	B	B
	NS	-0,895	1,064	0,200	B	
	Z	-1,636	0,315	-0,452	R	
22	EO	-0,876	0,747	0,193	B	B
	NS	-0,694	1,286	0,499	B	
	Z	-1,291	0,202	-0,286	B	
23	EO	-0,467	1,524	0,651	R	R
	NS	0,216	2,213	1,266	D	
	Z	0,121	1,891	1,077	R	
24	EO	-0,586	1,796	0,725	R	D
	NS	-0,358	2,343	1,157	D	
	Z	-0,121	2,018	1,054	D	
25	EO	-0,738	0,581	0,069	B	B
	NS	0,313	1,946	1,270	R	
	Z	-1,205	0,550	-0,114	B	
26	EO	1,508	3,260	2,436	D	D
	NS	0,245	2,275	1,314	D	
	Z	-0,754	0,685	0,030	B	
27	EO	0,141	1,586	0,935	R	B
	NS	-0,547	1,165	0,318	B	
	Z	-1,127	0,552	-0,339	B	
28	EO	-0,255	1,094	0,500	B	B
	NS	-0,348	1,207	0,473	B	
	Z	-0,908	0,502	-0,105	B	

29	EO	-0,131	1,493	0,844	B	B
	NS	0,040	1,430	1,005	R	
	Z	0,072	1,388	0,922	B	
30	EO	-0,895	1,455	0,439	B	R
	NS	-0,392	1,876	0,908	R	
	Z	-0,567	1,546	0,742	R	
31	EO	0,321	2,129	1,303	D	D
	NS	-0,062	2,042	1,040	D	
	Z	-0,441	1,432	0,558	B	
32	EO	0,077	1,158	0,686	B	B
	NS	0,078	1,543	0,857	R	
	Z	-0,087	0,867	0,418	B	
33	EO	0,862	2,599	1,782	D	D
	NS	0,428	2,349	1,328	D	
	Z	-1,198	0,451	-0,299	B	
34	EO	0,042	2,054	1,206	D	D
	NS	0,726	2,376	1,764	D	
	Z	-1,573	0,194	-0,356	R	
35	EO	0,456	1,806	1,266	R	R
	NS	0,631	2,160	1,514	D	
	Z	-0,061	1,486	0,891	B	
36	EO	0,823	2,178	1,633	D	R
	NS	-0,163	1,588	0,841	R	
	Z	-0,152	1,282	0,715	B	
37	EO	-0,239	1,905	0,971	R	D
	NS	0,196	2,429	1,311	D	
	Z	-0,027	2,301	1,306	D	
38	EO	1,073	2,204	1,636	D	R
	NS	0,391	1,843	1,125	R	
	Z	0,282	1,711	1,049	R	

Tabla 14. Bondad global del ajuste.

Los ajustes se identifican como bueno, regular y deficiente, representados por las letras B, R y D.

Clasificación/Componente	EO	NS	Z	Global
B	16	13	28	18
R	10	10	7	9
D	12	15	3	11
Total	38	38	38	38

4.5 PGA en función de la distancia hipocentral

Se analizan las máximas amplitudes (PGA) de las 38 simulaciones en función de la distancia hipocentral. Es decir, en cada serie de tiempo sintética se calcula la máxima amplitud absoluta por estación para cada evento, obteniendo así las Figuras 4-66, 4-67 y 4-68.

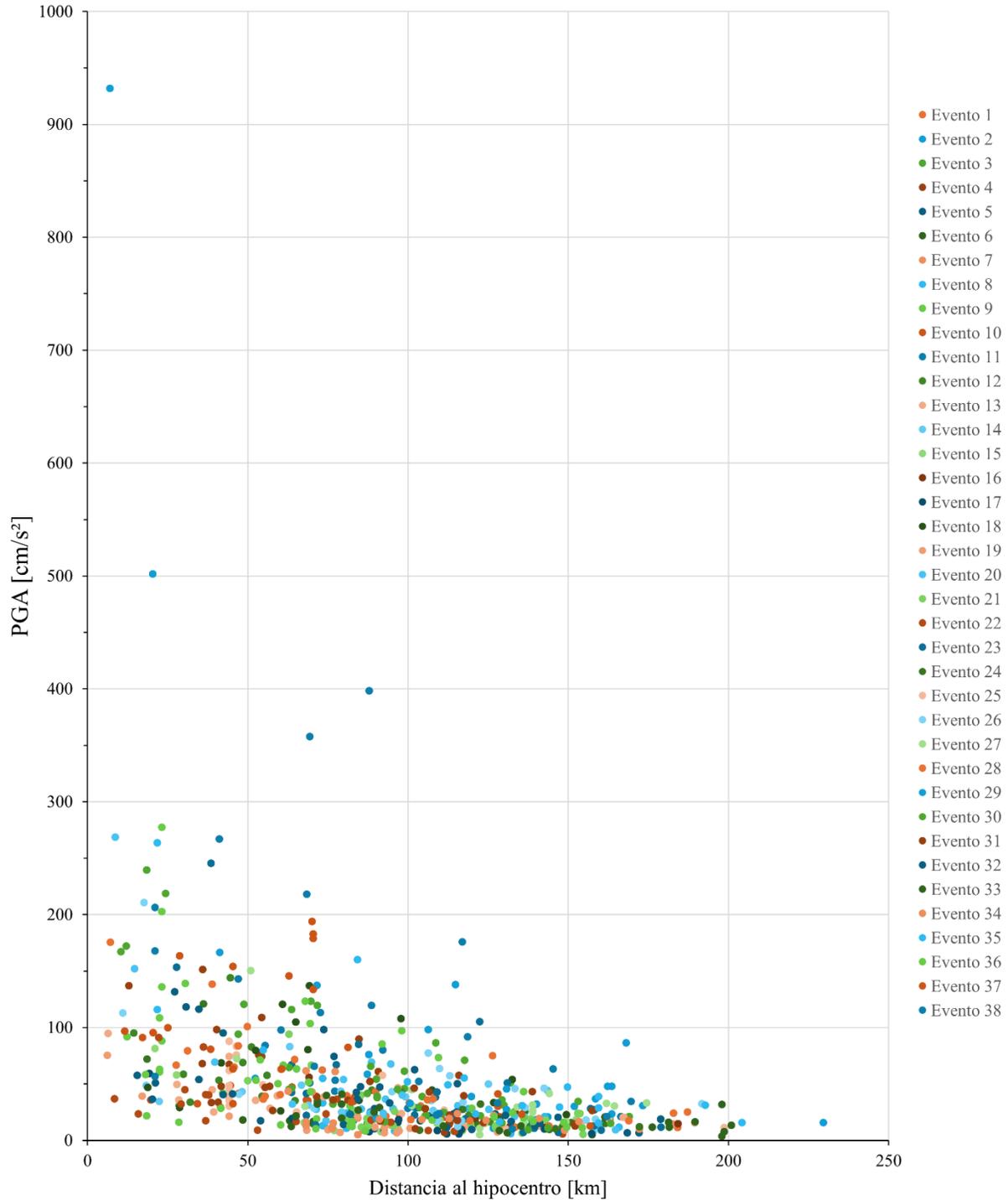


Figura 4-66. PGA en función de la distancia al hipocentral componente este – oeste.

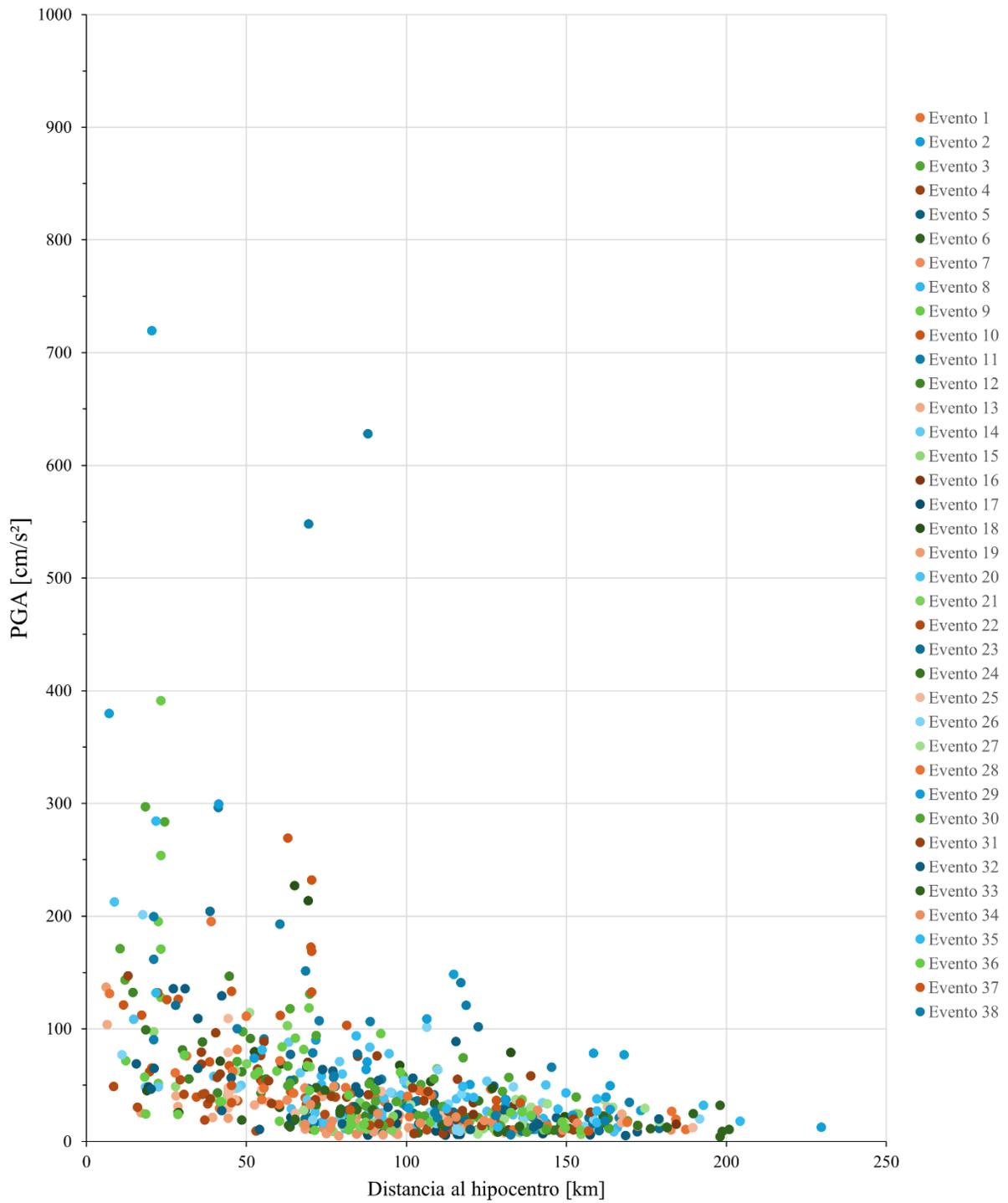


Figura 4-67. PGA en función de la distancia al hipocentral componente norte – sur.

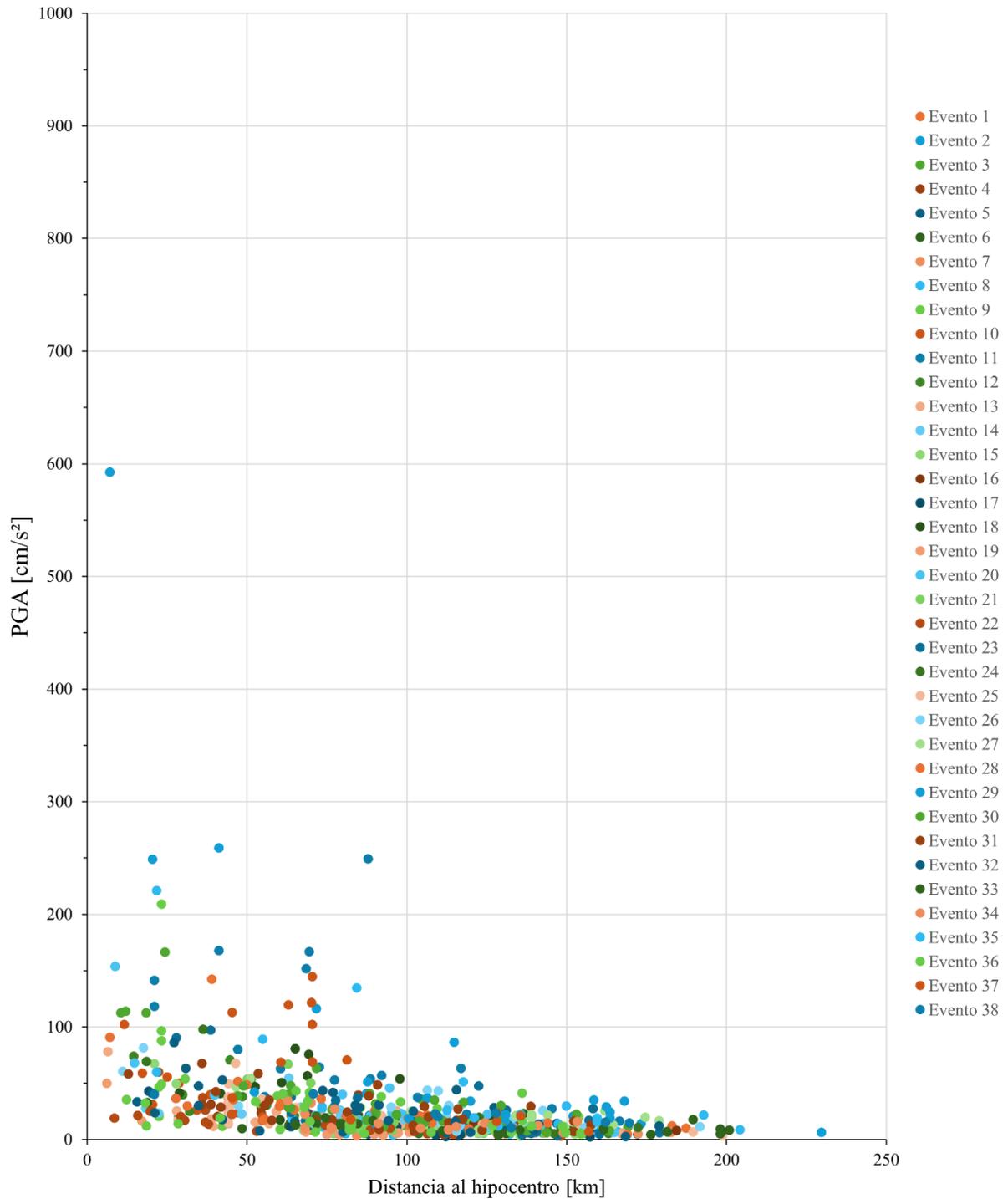


Figura 4-68. PGA en función de la distancia al hipocentral componente vertical.

De manera complementaria, se calcularon las curvas de predicción del movimiento del suelo (GMPE, por sus siglas en inglés) en base a lo realizado por Idini et al. (2017). Este procedimiento se realizó para las componentes norte – sur y este – oeste, los resultados se ilustran en las Figuras 4-69, 4-70, 4-71, 4-72, 4-73, 4-74, 4-75 y 4-76.

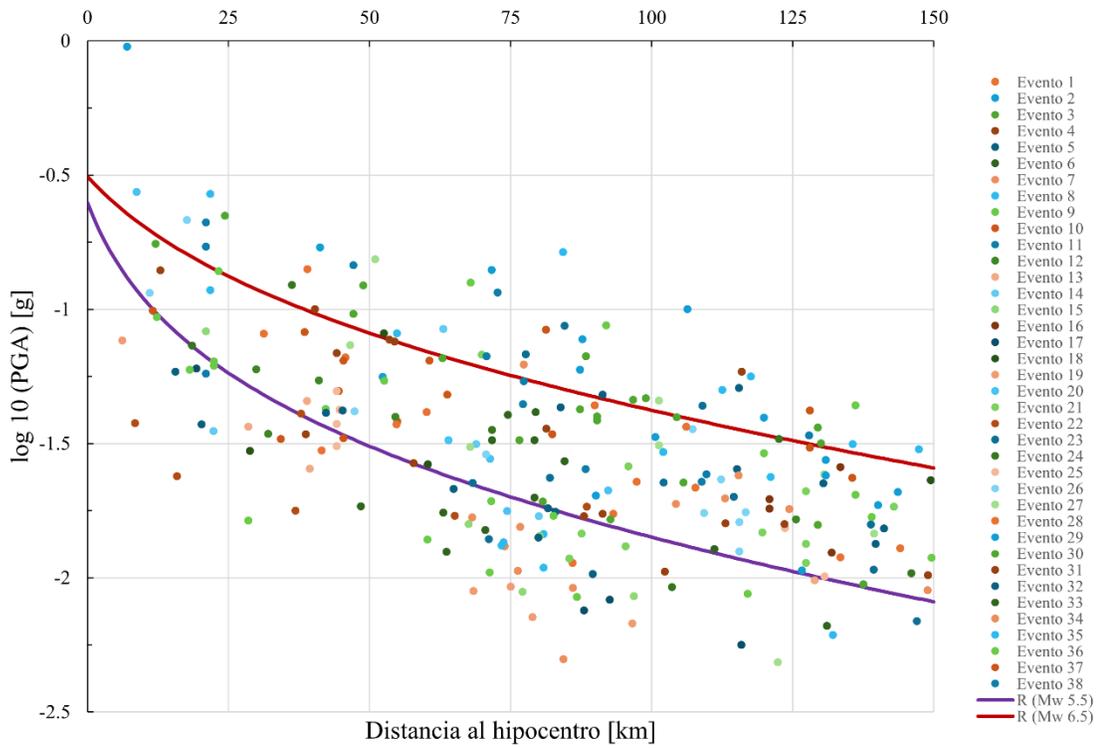


Figura 4-69. GMPE componente este – oeste para estaciones simuladas en roca.

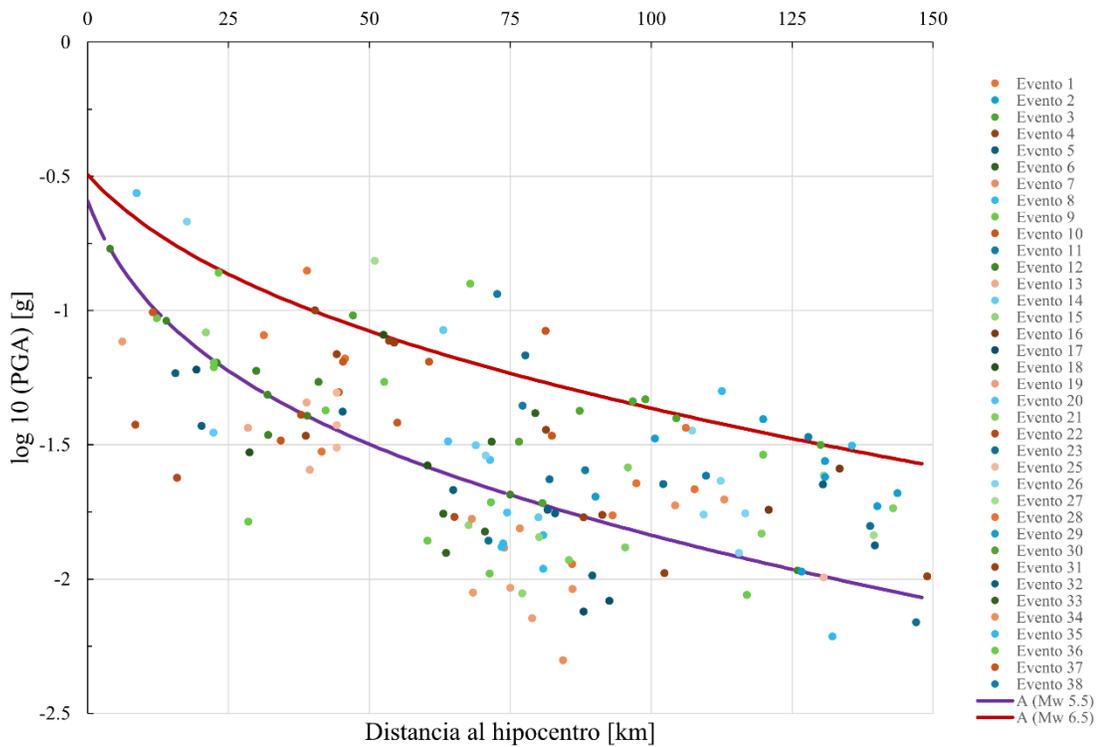


Figura 4-70. GMPE componente este – oeste para estaciones en suelo A.

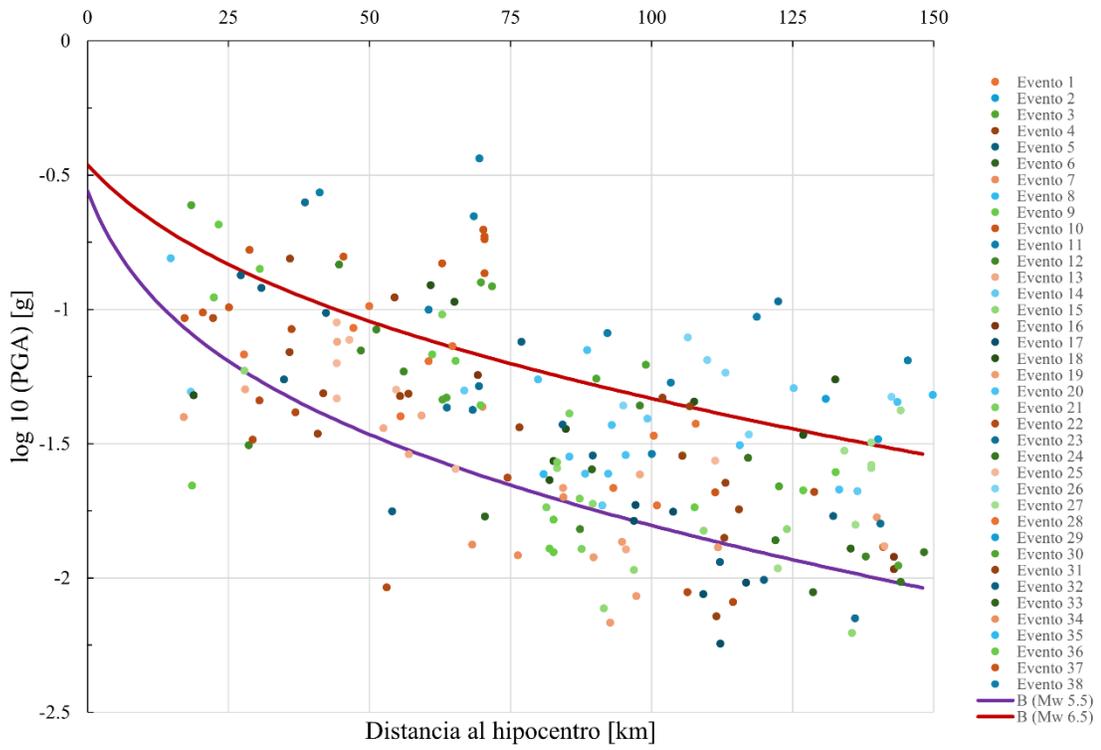


Figura 4-71. GMPE componente este – oeste para estaciones en suelo B.

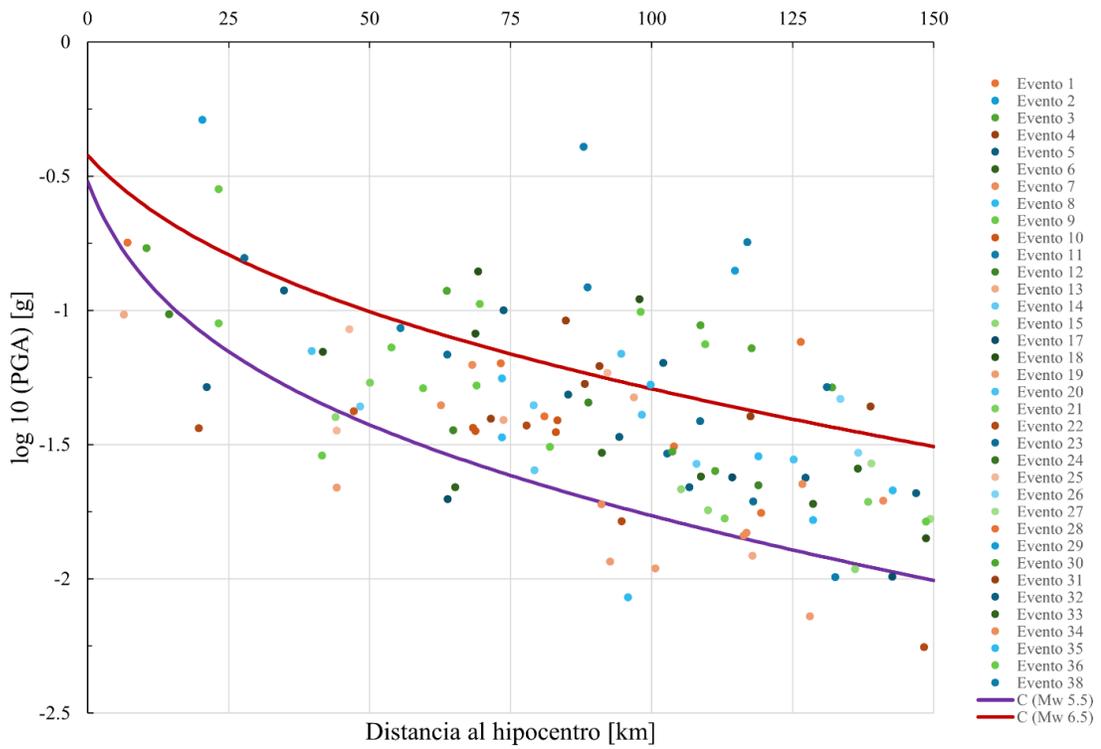


Figura 4-72. GMPE componente este – oeste para estaciones en suelo C.

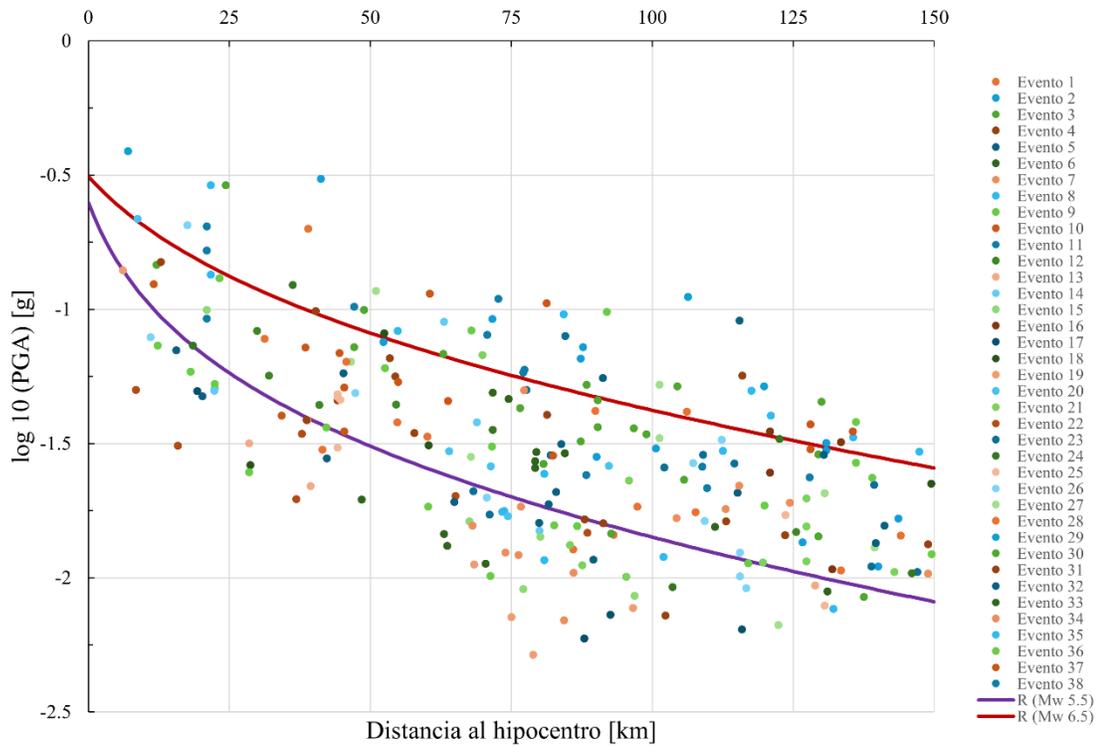


Figura 4-73. GMPE componente norte - sur para estaciones simuladas en roca.

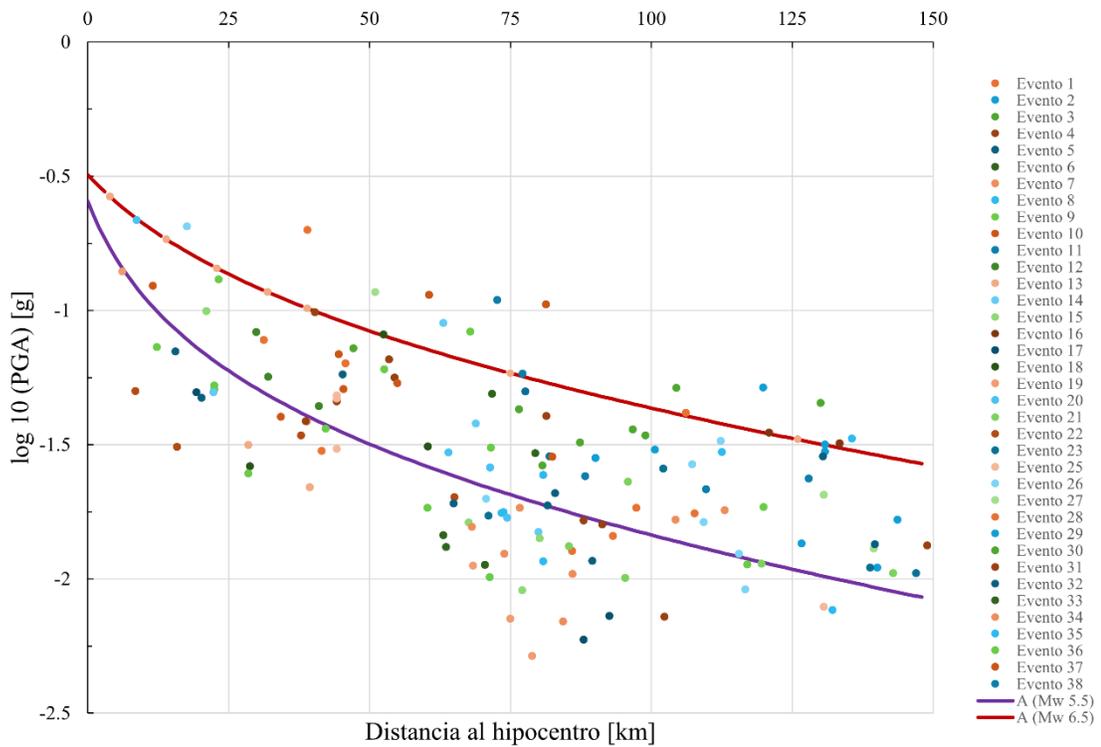


Figura 4-74. GMPE componente norte – sur para estaciones en suelo A.

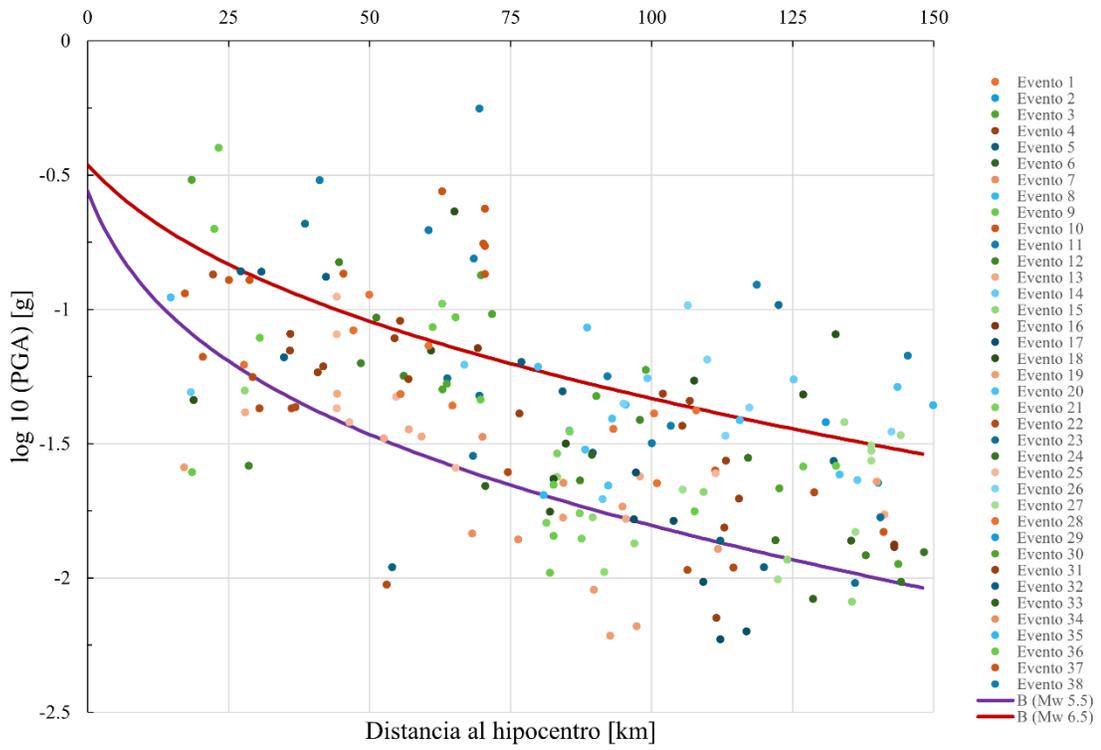


Figura 4-75. GMPE componente norte – sur para estaciones en suelo B.

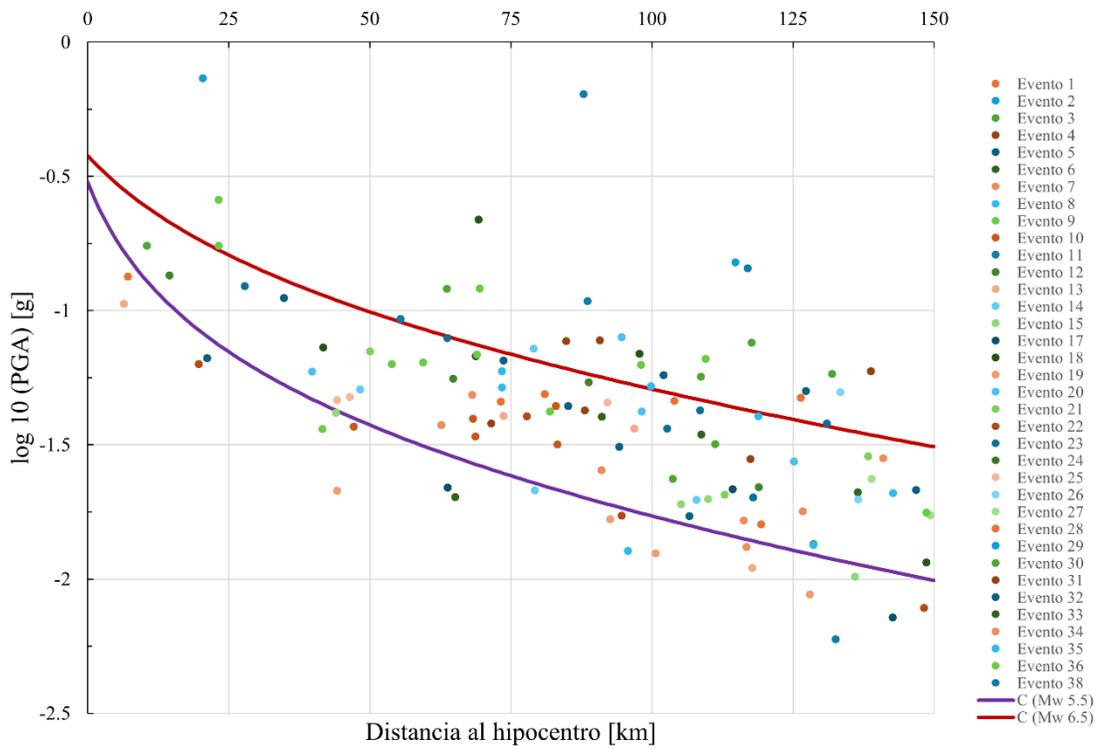


Figura 4-76. GMPE componente norte – sur para estaciones en suelo C.

5. Análisis y Discusión de Resultados

Comenzando con el análisis del evento 15 y recordando que corresponde a un evento de magnitud de momento 5,8 cuyo hipocentro se sitúa en zona submarina a 35 kilómetros de profundidad frente a las costas de la cuarta región del país se observa primeramente que posee una mayor concentración de estaciones ubicadas al noreste del hipocentro del evento.

En una primera vista general de las gráficas para cada estación, se puede notar que los datos simulados (color verde) se asemejan en forma y amplitud a los datos reales (color azul). Por otra parte, los espectros de respuesta que corresponden a la última fila de las Figuras siguen la misma tendencia.

De manera más concisa, en la Figura 4-22 se tiene la bias o sesgo de las simulaciones para las tres componentes. Particularmente, para la componente este – oeste el sesgo del modelo oscila en torno al cero, lo que sugiere una buena concordancia entre lo observado y simulado. Sin embargo, para periodos más largos se observa una subestimación en la amplitud de las señales.

Respecto a la componente norte – sur, el comportamiento es similar al este – oeste, aunque con mayores discrepancias en algunas zonas que deben investigarse. En cuanto a la componente vertical, esta posee un sesgo más variado a lo largo de los diferentes periodos, notando una ligera tendencia hacia la subestimación en periodos intermedios y largos.

Globalmente, el modelo reproduce una precisión aceptable en las tres componentes. No obstante, las desviaciones observadas sugieren áreas de mejora en el modelamiento y/o simulación o bien en los parámetros y simplificaciones que se tomaron para la obtención de los acelerogramas artificiales.

Respecto al evento N.º17, se observa que para las componentes este – oeste y norte – sur el sesgo se mantiene en torno al cero para la mayor parte de periodos abarcados, sin embargo, al igual que ocurre en el evento anterior, para periodos largos existe una leve tendencia a la subestimación (valores negativos). Por otra parte, la componente vertical posee una mayor variabilidad en periodos intermedios.

En términos generales el modelo replica de buena forma las observaciones, sin embargo, las diferencias observadas en los periodos largos podrían tener implicancias significativas para la predicción de eventos futuros, especialmente en términos de la capacidad del modelo para reproducir señales de baja frecuencia, sugiriendo la necesidad de ajustes adicionales para mejorar la precisión de este.

Continuando con el tercer evento expuesto en el capítulo de resultados, se repite el patrón identificado anteriormente, es decir, una correlación entre lo simulado y observado cercana a cero para las componentes este – oeste y norte – sur con tendencia a valores negativos para periodos largos y mayor variabilidad en la componente vertical para periodos medios.

Resumiendo, el desempeño global del modelo en el evento 28 es bastante sólido, con un sesgo que se mantiene dentro de rangos aceptables en todas las componentes. Las diferencias menores en los periodos más largos y en la componente vertical implican áreas donde se podría mejorar la precisión del modelo.

Comparando los resultados de los eventos N.º 15, 17 y 28, se identifica una buena correlación entre los resultados de la simulación y las observaciones reales, esto en base a lo expuesto en las Figuras 4-22, 4-37 y 4-64. Además, el segundo presenta una bias más estable y cercana al cero. En contraste, el último presenta una mayor cantidad de fluctuaciones en las componentes norte – sur y vertical.

Por otra parte, sigue analizar los resultados de los 35 eventos restantes, cuyos gráficos resultantes se adjuntan en la sección Anexos del presente documento. De manera general, se observa en estos que existe una mayor similitud en la componente vertical, esto se corresponde con lo expuesto en la Tabla 14.

Si bien existe un buen ajuste en la componente vertical, cabe mencionar que se observa en algunos casos una sobreestimación en lo simulado, por ejemplo, la componente vertical del evento N.º 8, por el contrario, los casos que se ven subestimados tienen a ser aquellos que poseen subestimación en las tres componentes (por mencionar algunos ejemplos se tienen los casos N.º 7, 11 y 31).

Para refinar los resultados, es necesario modificar e identificar los parámetros que afectan las bajas frecuencias, así como aquellos que inciden directamente en las componentes este-oeste y norte-sur. Además, sería ideal incorporar a las simulaciones ciertos parámetros adicionales que, debido a la extensión limitada de este estudio, no fueron considerados. Para ello se proponen modelos de atenuación de bajas frecuencias y análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de los parámetros.

Es crucial discutir el valor de la caída de esfuerzos ($\Delta\sigma$), ya que, aunque se utilizó 100 [bares] de manera estándar en todas las simulaciones, en la realidad este valor varía según factores como la profundidad del evento, magnitud, área de deslizamiento y propiedades mecánicas de la fuente sísmica (Herrera et al., 2022; Otarola et al., 2021; Oth et al., 2017). En particular, se esperaría que los eventos sísmicos costeros o cercanos a contactos de placas presenten una menor caída de esfuerzos en comparación con terremotos intraplaca de profundidad intermedia.

Debido a los parámetros de entrada considerados y por simplicidad, se utilizó un valor único para la caída de esfuerzos. En el proceso iterativo para la obtención de las simulaciones, se probaron varias magnitudes, que oscilaron entre 70 y 500 [bares], siendo 100 [bares] el que proporcionó el mejor ajuste global de los resultados. Sin embargo, sería ideal lograr una combinación o ajuste de parámetros que permita simular con un valor menor según el caso específico. Esto último se debe a que, en general, se ha observado que sismos interplaca muestran caídas de esfuerzos del orden de 50 – 120 [bares].

Otro factor relevante es que, como se mencionó en la sección 2.3, el software emplea una metodología estocástica basada en las características de la fuente, la trayectoria y el sitio. Esto significa que hay elementos que no se consideran completamente en el modelo, como la vulnerabilidad específica del sitio, la atenuación particular según la zona, amplificaciones locales, entre otros.

En otro aspecto, un plano nodal es un plano teórico que se utiliza para describir el tipo de falla que ocurrió durante un sismo y está asociado a tres ángulos clave: strike, dip y rake, los cuales se detallan en el Marco Teórico. Inicialmente, las simulaciones se realizaron sin considerar la geometría de cada evento y los efectos que podría inducir, es decir, tomando 3 valores fijos para estos ángulos en todas las simulaciones.

Sin embargo, para mejorar la precisión de los resultados, se decidió adoptar los valores proporcionados por la USGS observando que, al incorporar un plano nodal distinto para cada evento, los resultados globales presentaron una mejora notable en la componente vertical. Pero para ciertos eventos disminuyó la coincidencia en las otras dos componentes.

Se observó que los resultados cambiaron significativamente después de incorporar el tipo de suelo específico para cada ubicación, lo cual se debería a la influencia del patrón de radiación obtenido a partir de la geometría de falla, el cual aportaría a la al aumento o disminución de amplitudes en ciertas componentes del sismograma, incluyendo su contribución de ondas P o S dependiendo de la componente.

Uno de los factores que incide directamente en los resultados obtenidos es el tipo de suelo especificado en el software para cada estación sismológica. Esta influencia se corroboró al realizar varias simulaciones en roca, independiente de la ubicación geográfica.

Lamentablemente, de las más de 100 estaciones con las que se trabajó, muchas no cuentan con información para caracterizar su tipo de suelo (Leyton et al., 2018), como se detalla en la Tabla 8. Esta falta de datos impacta directamente en los resultados, ya que las estaciones sin información fueron simuladas asumiendo que el suelo era roca, aunque esta suposición no necesariamente es correcta.

Incluso las estaciones que cuentan con información para su caracterización recibieron un tipo de suelo estimado basado en los parámetros y la información disponible. Sin embargo, para determinar el tipo de suelo real se requerirían estudios geotécnicos específicos, los cuales implicarían un trabajo y costo considerable, dado que en Chile hay cientos de estaciones sismológicas repartidas a lo largo del país (Leyton et al., 2018).

La sección 4.5 muestra que, en general, las aceleraciones máximas o PGA tienden a disminuir a medida que aumenta la distancia hipocentral, como se puede observar en las Figuras 4-66, 4-67 y 4-68. La mayoría de los valores registrados se sitúan por debajo de los 200 [cm/s²], aunque existen casos atípicos en ciertos eventos que presentan valores significativamente más altos.

Por ejemplo, en los eventos 9, 20 y 29, se observa que a distancias cortas los valores de PGA son notablemente elevados en comparación con el resto de los eventos. Este patrón se repite en distancias intermedias, donde se registran picos entre los 50 y 100 kilómetros, así como entre los 100 y 150 kilómetros. Esto plantea la pregunta de si son estos eventos específicos los que inducen grandes aceleraciones o si se trata de casos aislados.

En relación con las Figuras 4-69 a 4-76, al incluir las curvas GMPE y clasificar las estaciones según su tipo de suelo, se observa que la mayoría de los puntos se sitúan dentro de los rangos esperados, es decir, entre ambas curvas. En particular, para las estaciones ubicadas en suelo tipo A, los valores de PGA tienden a estar por debajo de la curva inferior en comparación con las demás gráficas, tanto en la componente este – oeste como norte – sur.

A lo largo de este trabajo de título se han mencionado diversos conceptos relacionados a la geofísica e ingeniería civil. Los acelerogramas artificiales permiten representar diferentes niveles de intensidad sísmica y características de los terremotos, permitiendo realizar análisis más detallados y realistas. Conocer esta información es crucial para el diseño de estructuras particularmente en Chile que es un país sísmico.

Las propiedades del suelo, junto con los parámetros sísmicos, son esenciales para comprender cómo se propagan las ondas sísmicas a través del subsuelo y su impacto en la superficie y en las estructuras construidas sobre ella. Por ello, antes de comenzar cualquier proyecto de ingeniería, es fundamental llevar a cabo una caracterización del sitio. Esta evaluación permite diseñar de manera que el proyecto sea capaz de resistir un terremoto y cumpla con la normativa nacional vigente.

6. Conclusiones

Primeramente, se da cuenta del cumplimiento de los objetivos planteados al inicio de este documento, puesto que se generaron los acelerogramas artificiales para los eventos sísmicos seleccionados siguiendo una metodología estocástica que simula la componente de alta frecuencia de cada terremoto. Con lo cual se obtuvieron las simulaciones para eventos moderados, M_w entre 5,5 y 6,5; en el norte de Chile mediante el software PWSIM.

A partir del análisis de los eventos sísmicos N.º 15, 17 y 28, junto con los 35 eventos restantes, se puede concluir que el modelo de simulación utilizado reproduce de manera adecuada las observaciones reales, especialmente en las componentes este-oeste y norte-sur. En términos generales, el sesgo o bias del modelo en estas componentes tiende a mantenerse cercano a cero, lo que sugiere una buena correspondencia entre las señales simuladas y las observadas.

No obstante, se identifica una tendencia a la subestimación en periodos más largos, lo que pone de manifiesto la necesidad de realizar ajustes en el modelamiento para mejorar la precisión de las simulaciones en señales de baja frecuencia. A pesar de estas diferencias, el desempeño global del modelo es aceptable.

Por otra parte, la componente vertical presenta mayor variabilidad, sobre todo en los periodos intermedios y largos. Este comportamiento indica que la simulación de esta componente es más compleja y requiere un enfoque particular para reducir las diferencias observadas con las señales reales. La variabilidad en la componente vertical es uno de los puntos donde se podrían realizar mejoras significativas en el modelo.

Uno de los factores clave que impacta los resultados de las simulaciones es el tipo de suelo asignado a las estaciones sismológicas. Al incorporar las características específicas del suelo para cada estación, los resultados mostraron una mejora notable, particularmente en la componente vertical. Sin embargo, la falta de información detallada sobre el tipo de suelo para muchas estaciones sigue siendo una limitación importante.

Al adoptar valores específicos proporcionados por la USGS para los planos nodales de cada evento, se observaron mejoras en la componente vertical, aunque surgieron ciertas discrepancias en las componentes este-oeste y norte-sur. Esto subraya la importancia de utilizar parámetros precisos y específicos para cada evento sísmico, aunque también es necesario evaluar cómo los cambios en estos parámetros afectan el comportamiento del modelo en las distintas componentes.

Globalmente, el modelo presenta un buen desempeño, pero las diferencias observadas en los periodos más largos, así como la variabilidad en la componente vertical, sugieren que se deben realizar ajustes adicionales en los parámetros que influyen en la simulación de las bajas frecuencias. Estas señales son de especial relevancia para la predicción precisa de eventos sísmicos futuros, ya que las frecuencias bajas son cruciales para evaluar el impacto en zonas más alejadas del epicentro.

Finalmente, las simulaciones realizadas en este estudio resultan fundamentales para el ámbito de la ingeniería civil, especialmente en un país como Chile, donde la sismicidad es frecuente. La información obtenida a partir de los acelerogramas artificiales es esencial para el diseño de estructuras que puedan resistir eventos sísmicos. Incorporar parámetros más detallados y específicos, por ejemplo, los tipos de suelo, es clave para mejorar la precisión de las simulaciones y asegurar que los proyectos de ingeniería cumplan con los estándares nacionales de resistencia sísmica.

7. Comentarios y Recomendaciones

En virtud de la metodología y el trabajo realizado en esta Memoria de Título, se presentan a continuación ciertos comentarios y recomendaciones para futuros estudios que continúen o amplíen el enfoque propuesto. Estas sugerencias están destinadas a mejorar el desarrollo del tema y alcanzar una mayor precisión en los resultados.

Primeramente, debido al tiempo limitado para el desarrollo de este trabajo, no fue posible considerar todos los parámetros de entrada que permite incorporar el software PWSIM. Por ello, sería ideal tener en cuenta parámetros adicionales que no se profundizaron en este estudio, como los factores de atenuación Q_{so} y Q_{po} , así como el uso de funciones de transferencia.

En segundo lugar, dado que el objetivo de esta memoria se centra en sismos de magnitudes moderadas (M_w entre 5,5 y 6,5) y ya se ha evaluado el desempeño para eventos de grandes magnitudes, se propone ampliar el espectro de magnitudes en futuros estudios. Además, este trabajo abarca eventos de baja profundidad (hasta 70 kilómetros) en el norte del país, por lo que queda pendiente explorar eventos de mayores profundidades y en otras zonas de Chile.

Por último, sería ideal encontrar una combinación de parámetros o ajustes que permitan obtener simulaciones con buenas aproximaciones, considerando una menor caída de esfuerzos. Esto sería especialmente relevante para sismos cuya naturaleza sugiere que deberían producir acelerogramas similares a los observados con una magnitud menor de la caída de esfuerzos.

Bibliografía

- Barrientos, S. (2018). The seismic network of Chile. *Seismological Research Letters*, 89(2A), 467–474. <https://doi.org/10.1785/0220160195>
- Blaser, F., Ruiz, S., Otarola, C., Ojeda, J., & Pasten, C. (2018). Strong Motion Simulation of Valparaiso 2017 Mw 6.9 Chile earthquake using a hybrid method. *AGUFM*, 2018, T43E-0441. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018AGUFM.T43E0441B/abstract>
- Boore, D. M. (1983). Stochastic simulation of high frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 73(6A), 1865–1894.
- Boore, D. M. (2003). Simulation of Ground Motion Using the Stochastic Method. *Pure & Applied Geophysics*, 160, 635–676. <https://doi.org/10.1007/PL00012553>
- Bustos, J., Garrido, B., & Pastén, C. (2023, junio). Numerical Evidence of Displacement Aggravation in Tailings Dams Including the Vertical Ground Motion. *Proceedings of Tailings 2023, Santiago, Chile*.
- Cárdenas, D., & Montalva, G. (2023). *Numerical Modelling of Kinematic Megathrust Rupture for Seismic Hazard Assessment in the Near-Source Regions*. 214–222. <https://doi.org/10.1061/9780784484968.023>
- Centro Sismológico Nacional. (s. f.-a). *Quiénes somos*. Recuperado 21 de julio de 2024, de <https://www.csn.uchile.cl/centro-sismologico-nacional/quienes-somos/>
- Centro Sismológico Nacional. (s. f.-b). *Registro de eventos significativos*. Recuperado 13 de agosto de 2024, de <https://evtdb.csn.uchile.cl/>
- Centro Sismológico Nacional. (s. f.-c). *Tipos de sismos en Chile*. Recuperado 25 de junio de 2024, de <https://www.csn.uchile.cl/tipos-de-sismos-chile/>
- Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. (s. f.). *Software de generación de acelerogramas artificiales PWSIM (Parallel Waves SIMulation)*. Recuperado 13 de agosto de 2024, de <https://ingenieria.uchile.cl/innovacion/oportunidades-para-innovar/industria/infraestructura-y-construccion>
- Felicetta, C., Mascandola, C., Spallarossa, D., Pacor, F., Hailemichael, S., & Di Giulio, G. (2021). Quantification of site effects in the Amatrice area (Central Italy): Insights from ground-motion recordings of the 2016–2017 seismic sequence. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 142, 106565. <https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2020.106565>
- Flores, C., Ojeda, J., Otarola, C., Arriola, S., & Ruiz, S. (2023). Stochastic strong-ground motion simulation in the Santiago metropolitan region considering an Mw 7.8 intraplate intermediate-depth earthquake. *Journal of South American Earth Sciences*, 130, 1–13. <https://doi.org/10.1016/J.JSAMES.2023.104501>

- Graves, R. W., & Pitarka, A. (2010). Broadband ground-motion simulation using a hybrid approach. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100(5 A), 2095–2123. <https://doi.org/10.1785/0120100057>
- Gutiérrez, C. (2022). *Inversión bayesiana en altas frecuencias de la distribución de deslizamiento del terremoto de Tocopilla 2007, Mw 7.7* [Tesis para optar al grado de magíster en ciencias, mención geofísica, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/187604>
- Hanks, T. C., & McGuire, R. K. (1981). The character of high-frequency strong ground motion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71(6), 2071–2095. <https://doi.org/10.1785/BSSA0710062071>
- Hasterok, D., Halpin, J. A., Collins, A. S., Hand, M., Kreemer, C., Gard, M. G., & Glorie, S. (2022). New Maps of Global Geological Provinces and Tectonic Plates. *Earth-Science Reviews*, 231, 104069. <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2022.104069>
- Herrera, C., Pastén-Araya, F., Cabrera, L., Potin, B., Rivera, E., Ruiz, S., Madariaga, R., & Contreras-Reyes, E. (2022). Rupture properties of the 2020 Mw 6.8 Calama (northern Chile) intraslab earthquake. Comparison with similar intraslab events in the region. *Geophysical Journal International*, 232(3), 2070–2079. <https://doi.org/10.1093/GJI/GGAC434>
- Husen, S., Kissling, E., Flueh, E., & Asch, G. (1999). Accurate hypocentre determination in the seismogenic zone of the subducting Nazca Plate in northern Chile using a combined on-/offshore network. *Geophysical Journal International*, 138(3), 687–701. <https://doi.org/10.1046/J.1365-246X.1999.00893.X>
- Idini, B., Rojas, F., Ruiz, S., & Pastén, C. (2017). Ground motion prediction equations for the Chilean subduction zone. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15(5), 1853–1880. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0050-1>
- Leyton, F., Leopold, A., Hurtado, G., Pastén, C., Ruiz, S., Montalva, G., & Saéz, E. (2018). Geophysical Characterization of the Chilean Seismological Stations: First Results. *Seismological Research Letters*, 89(2A), 519–525. <https://doi.org/10.1785/0220170156>
- Maldonado, V. (2020). *Fallas corticales activas en Chile: Inferencias de amenaza sísmica a partir de la interpretación de su expresión superficial a escala 1:25.000* [Memoria para optar al Título de Geóloga, Universidad Austral]. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2020/fcm244f/doc/fcm244f.pdf>
- Ojeda, J. (2018). *Generación de acelerogramas artificiales a partir de nuevos modelos de ruptura de los terremotos Mw 8.1 y Mw 9.5 ocurridos en mayo de 1960* [Tesis para optar al grado de Magíster mención Geofísica, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168339>
- Ojeda, J., Akinci, A., Tinti, E., Arriola, S., & Ruiz, S. (2021). Hybrid broadband strong-motion simulation to investigate the near-source characteristics of the M6.5, 30 October 2016 Norcia,

- Italy earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106866>
- Otarola, C., & Ruiz, S. (2016). Stochastic generation of accelerograms for subduction earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106(6), 1–10. <https://doi.org/10.1785/0120150262>
- Otarola, C., Ruiz, S., Herrera, C., Madariaga, R., & Siegel, C. (2021). Dynamic rupture of subduction earthquakes located near the trench. *Earth and Planetary Science Letters*, 562, 116842. <https://doi.org/10.1016/J.EPSL.2021.116842>
- Oth, A., Miyake, H., & Bindi, D. (2017). On the relation of earthquake stress drop and ground motion variability. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122(7), 5474–5492. <https://doi.org/10.1002/2017JB014026>
- Pozo, I., Montalva, G., & Miller, M. (2023). Assessment of Kappa Values in the Chilean Subduction Zone for Interface and In-Slab Events. *Seismological Research Letters*, 94(1), 385–398. <https://doi.org/10.1785/0220220018>
- Retamal, V. (2021). *Análisis de sensibilidad de los parámetros que controlan el movimiento fuerte del suelo durante terremotos* [Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias mención Geofísica, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/184396>
- Ruiz, S., & Madariaga, R. (2018). Historical and recent large megathrust earthquakes in Chile. *Tectonophysics*, 733, 37–56. <https://doi.org/10.1016/J.TECTO.2018.01.015>
- Ruiz, S., Ojeda, J., Pastén, C., Otárola, C., & Silva, R. (2018). Stochastic Strong-Motion Simulation in Borehole and on Surface for the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki Megathrust Earthquake Considering P, SV, and SH Amplification Transfer Functions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108(5A), 2333–2346. <https://doi.org/10.1785/0120170342>
- VMware. (2020, septiembre 15). *Workstation 16: Now Available!* <https://blogs.vmware.com/workstation/2020/09/workstation-16-now-available.html>

Anexo

Evento N.º1

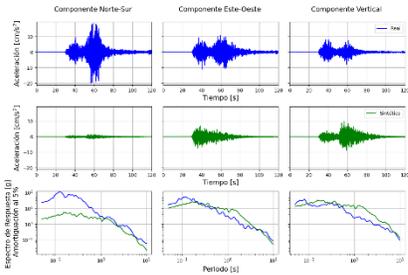


Figura 0-1. Estación GO01.

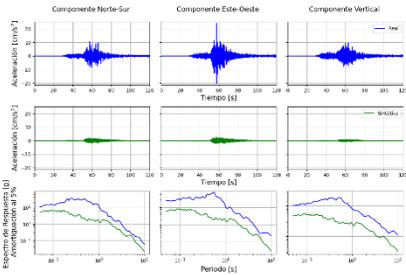


Figura 0-2. Estación PB02.

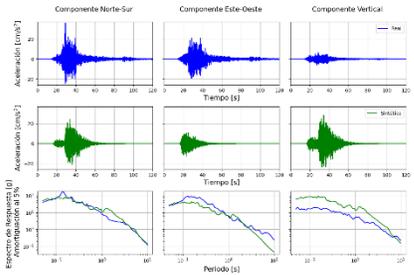


Figura 0-3. Estación T03A.

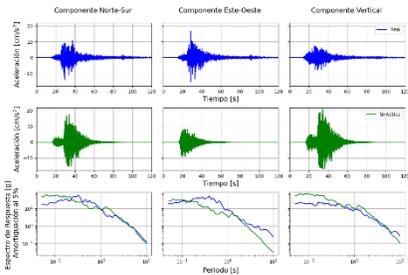


Figura 0-4. T06A

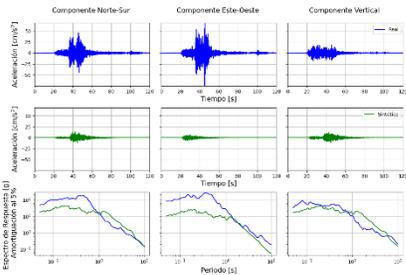


Figura 0-5. Estación T07A.

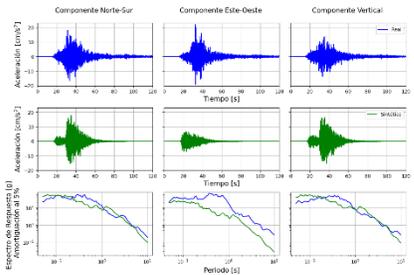


Figura 0-6. Estación T08A.

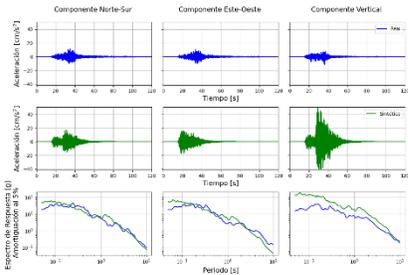


Figura 0-7. Estación T09A.

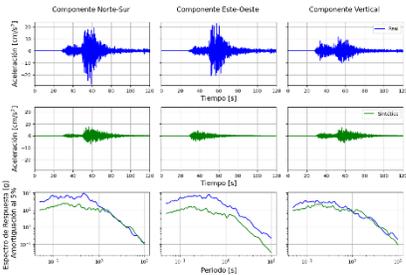


Figura 0-8. Estación T13A.

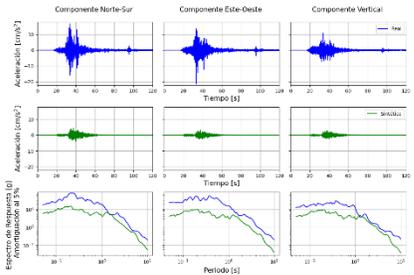


Figura 0-9. Estación TA01.

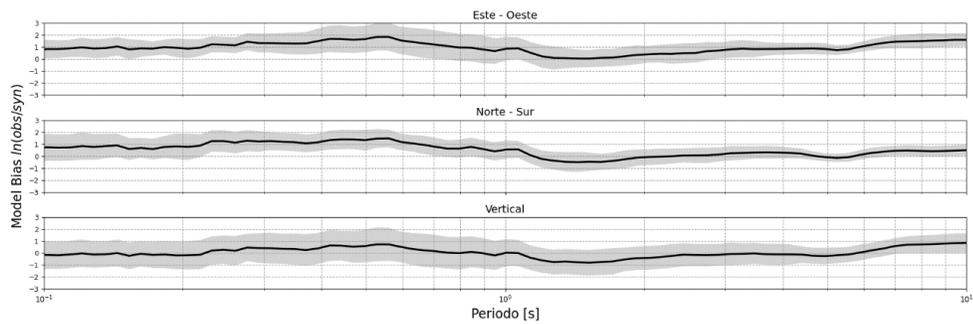


Figura 0-10. GOF del evento N.º1.

Evento N.º2

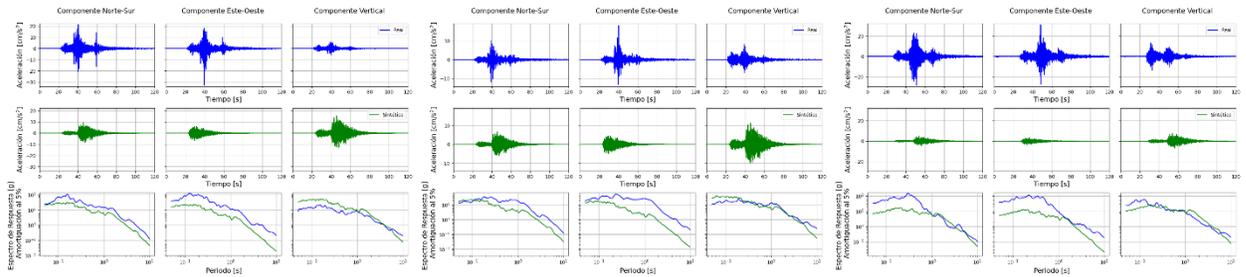


Figura 0-11. Estación T03A.

Figura 0-12. Estación T06A.

Figura 0-13. Estación T07A.

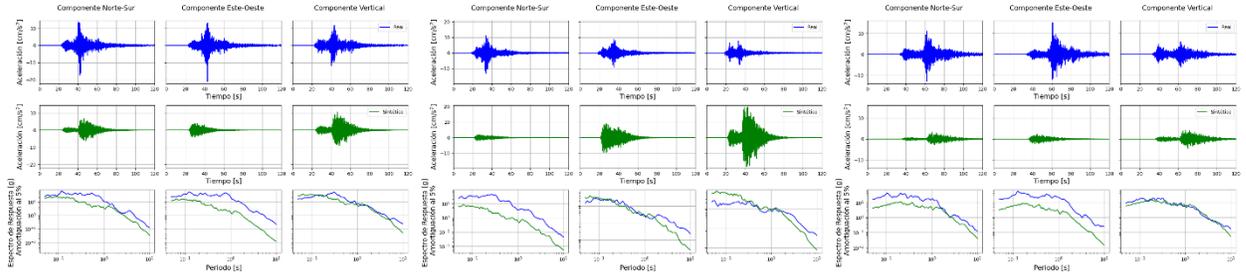


Figura 0-14. Estación T08A.

Figura 0-15. Estación T09A.

Figura 0-16. Estación T13A.

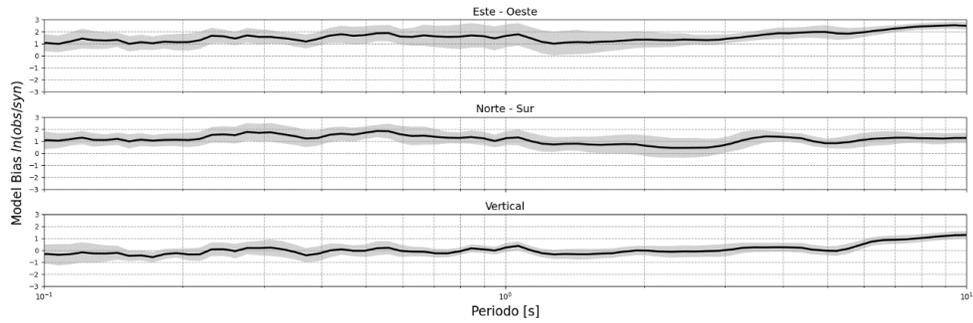


Figura 0-17. GOF del evento.

Evento N.º3

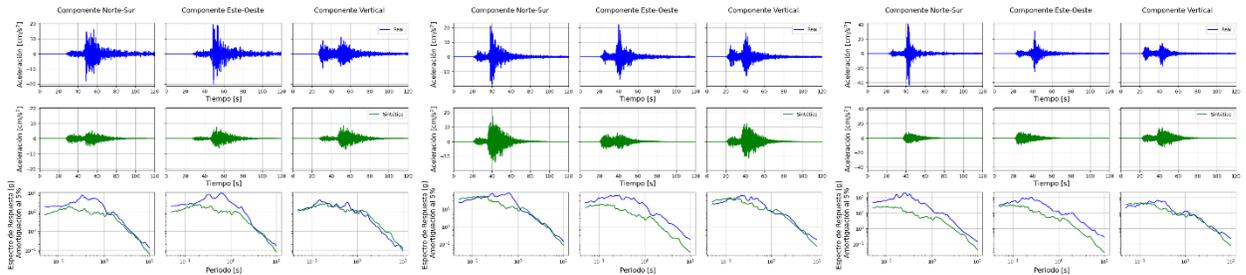


Figura 0-18. Estación AP01.

Figura 0-19. Estación HMBCX.

Figura 0-20. Estación PB11.

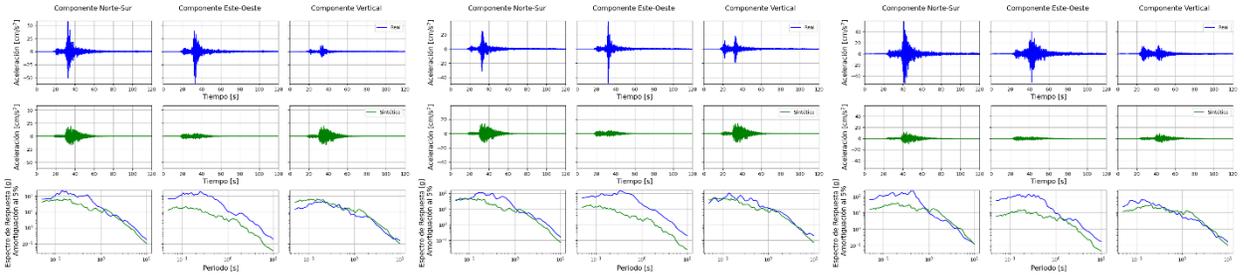


Figura 0-21. Estación T03A. Figura 0-22. Estación T06A. Figura 0-23. Estación T07A.

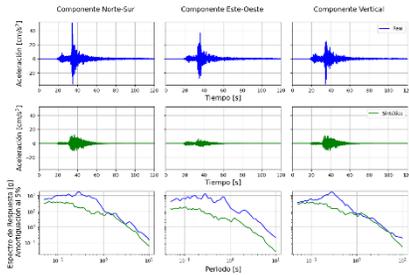


Figura 0-24. Estación T08A.

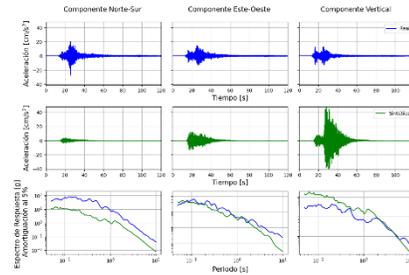


Figura 0-25. Estación T09A.

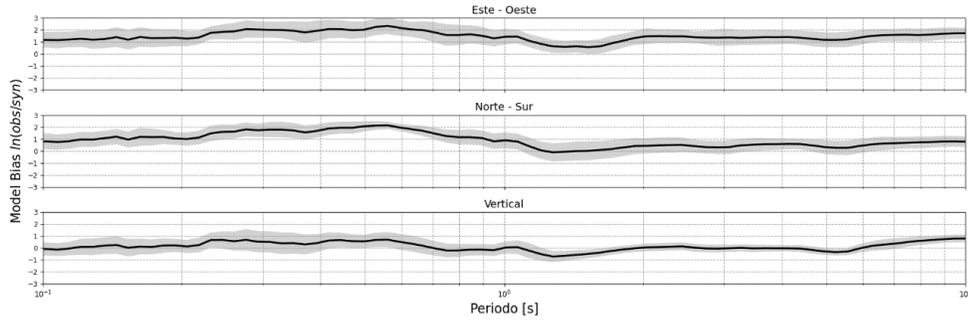


Figura 0-26. GOF del evento.

Evento N.º 4

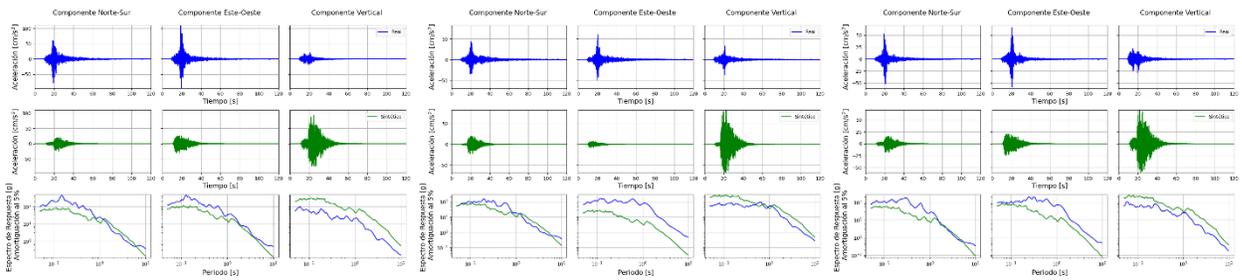


Figura 0-27. Estación T03A. Figura 0-28. Estación T05A. Figura 0-29. Estación T06A.

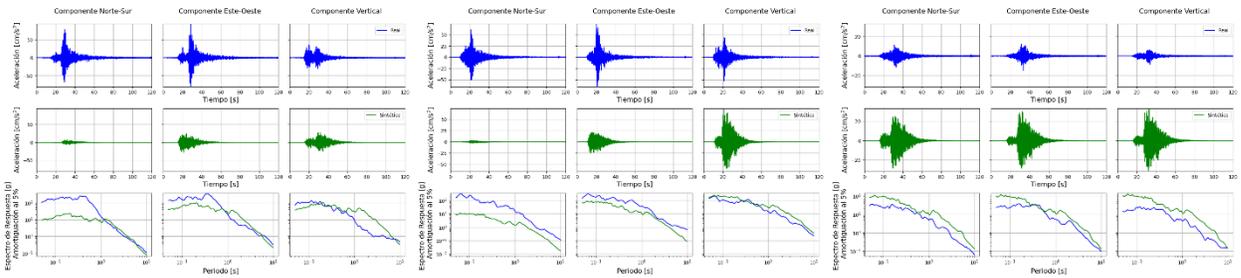


Figura 0-30. Estación T07A.

Figura 0-31. Estación T08A.

Figura 0-32. Estación T09A.

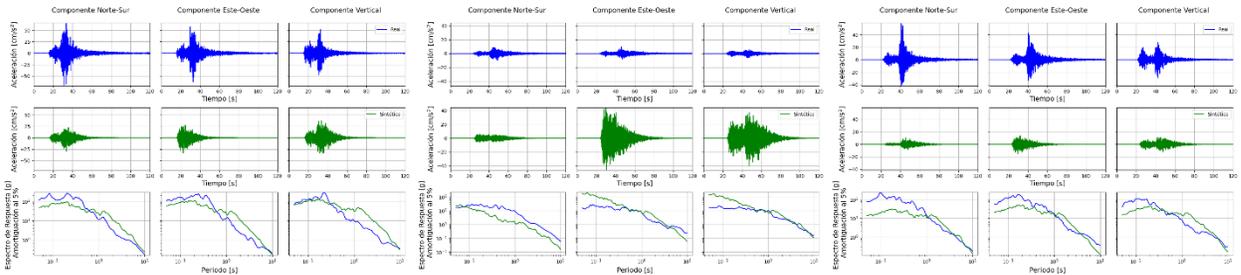


Figura 0-33. Estación T10A.

Figura 0-34. Estación T12A.

Figura 0-35. Estación T13A.

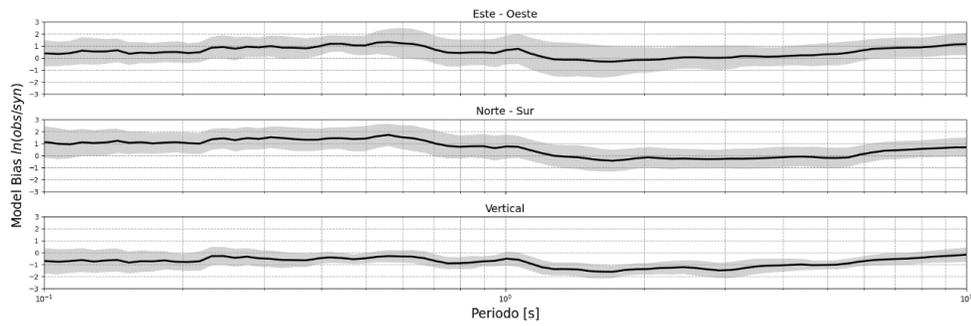


Figura 0-36. GOF del evento.

Evento N.º 5

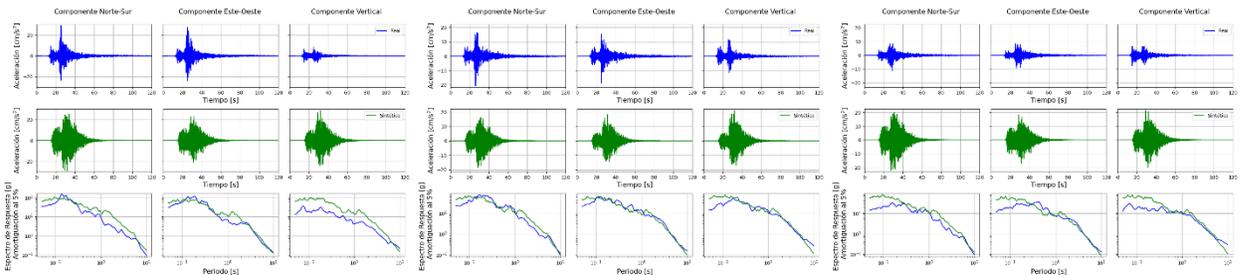


Figura 0-37. Estación T03A.

Figura 0-38. Estación T05A.

Figura 0-39. Estación T06A.

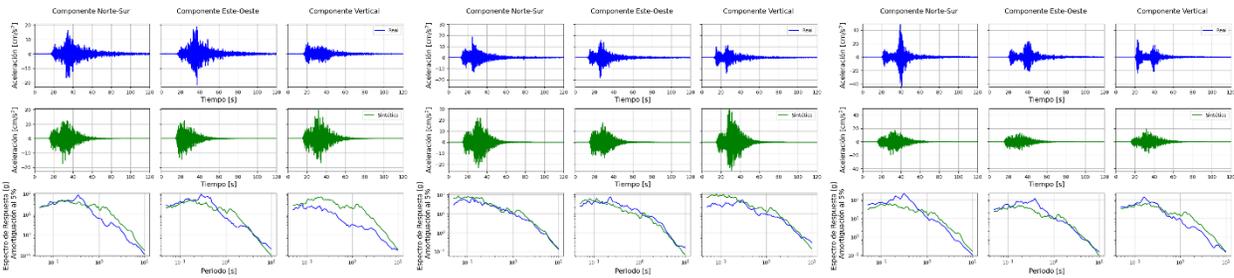


Figura 0-40. Estación T07A.

Figura 0-41. Estación T08A.

Figura 0-42. Estación T10A.

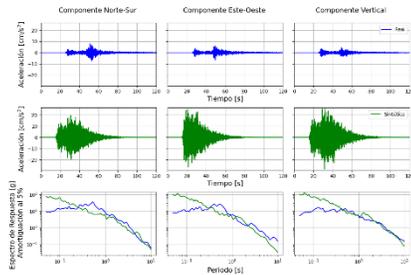


Figura 0-43. Estación T12A.

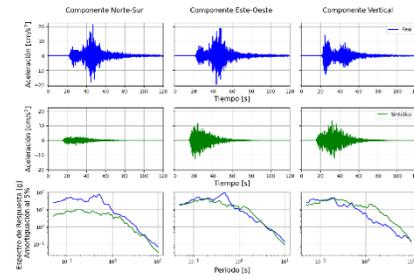


Figura 0-44. Estación T13A.

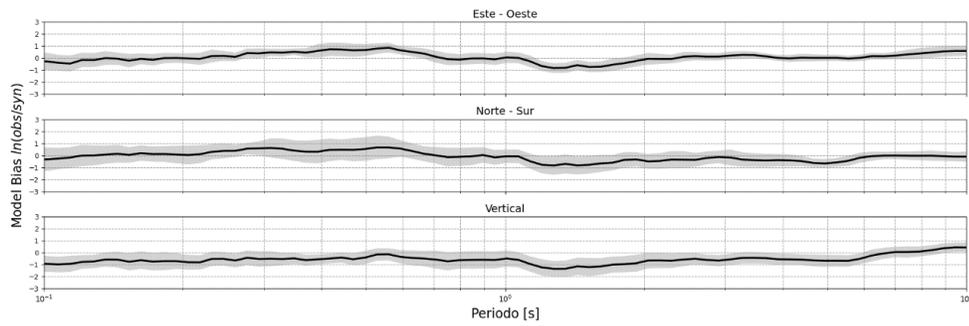


Figura 0-45. GOF del evento.

Evento N.º6

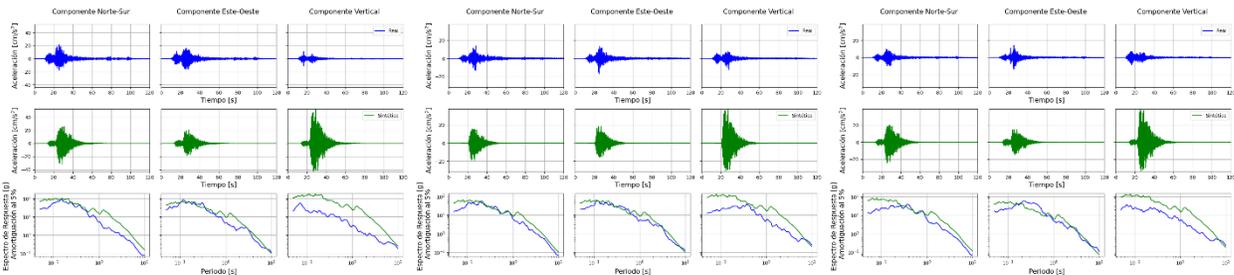


Figura 0-46. Estación T03A.

Figura 0-47. Estación T05A.

Figura 0-48. Estación T06A.

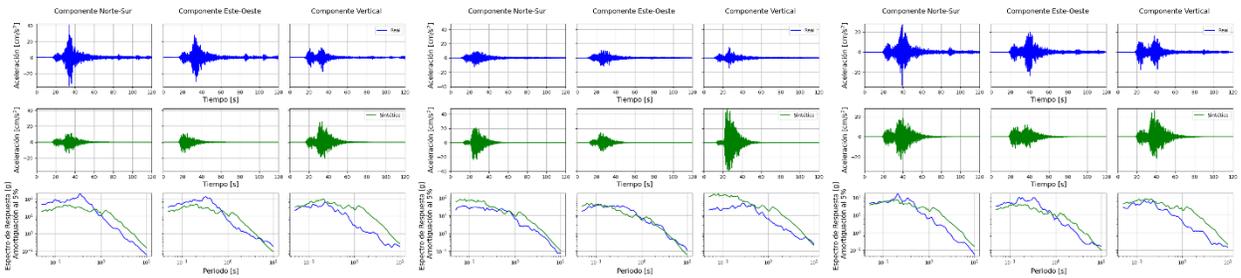


Figura 0-49. Estación T07A.

Figura 0-50. Estación T08A.

Figura 0-51. Estación T10A.

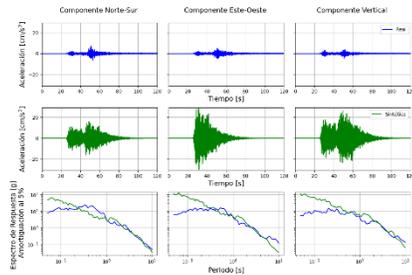


Figura 0-52. Estación T12A.

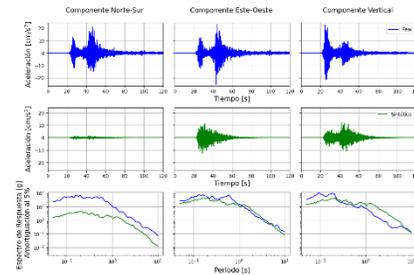


Figura 0-53. Estación T13A.

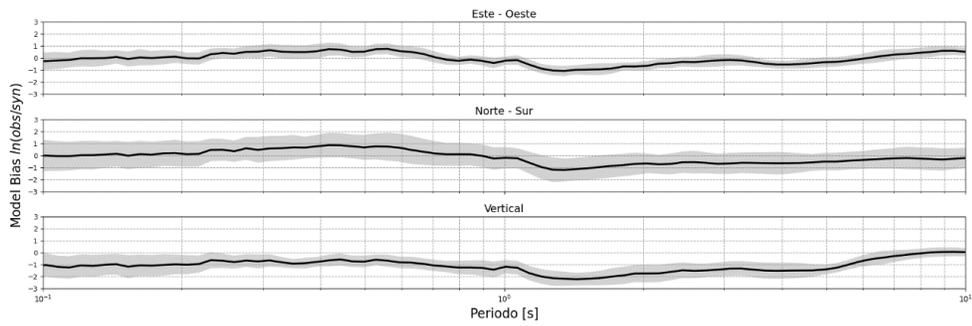


Figura 0-54. GOF del evento.

Evento N.º7

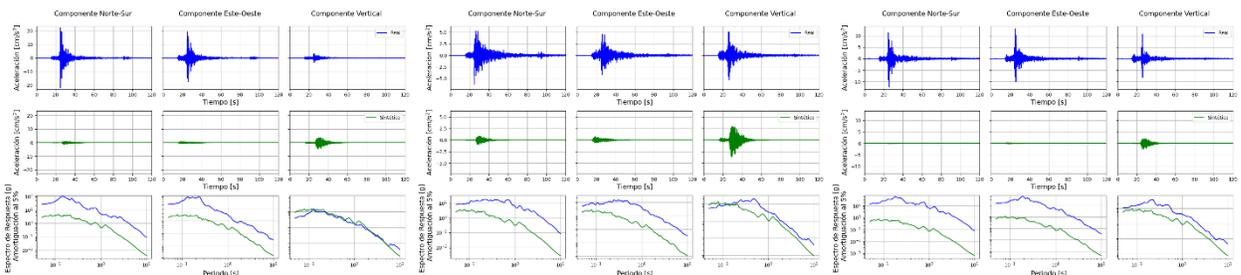


Figura 0-55. Estación T03A.

Figura 0-56. Estación T04A.

Figura 0-57. Estación T05A.

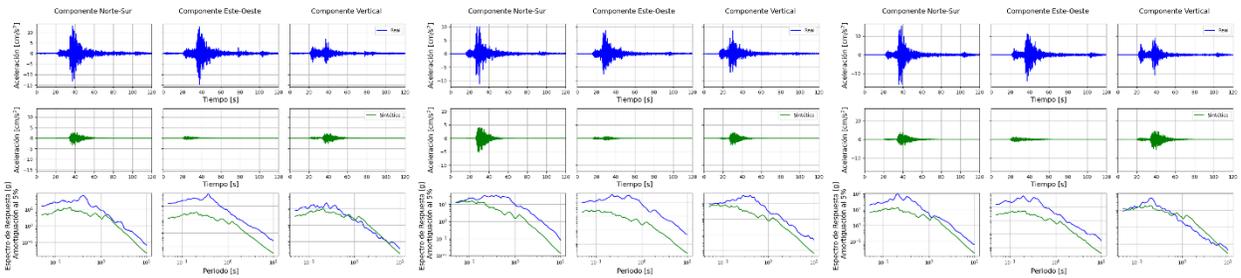


Figura 0-58. Estación T07A.

Figura 0-59. Estación T08A.

Figura 0-60. Estación T10A.

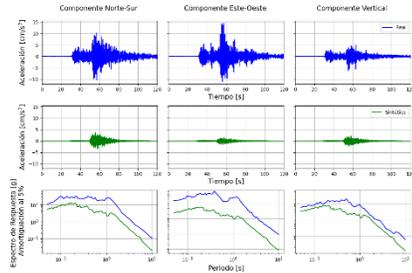


Figura 0-61. Estación T11A.

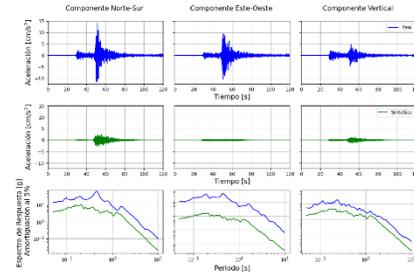


Figura 0-62. Estación T13A.

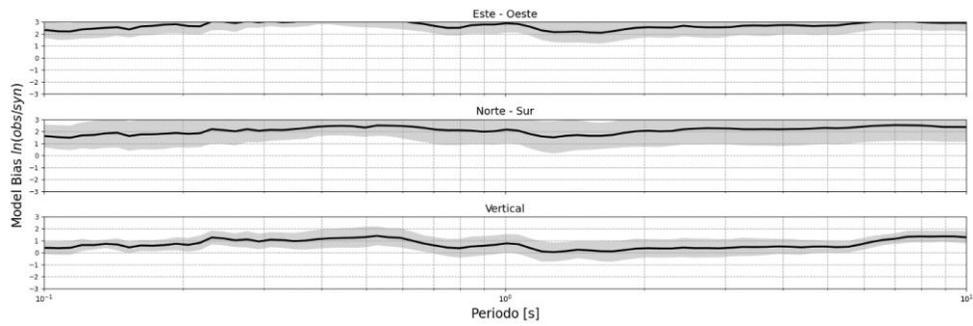


Figura 0-63. GOF del evento.

Evento N.º 8

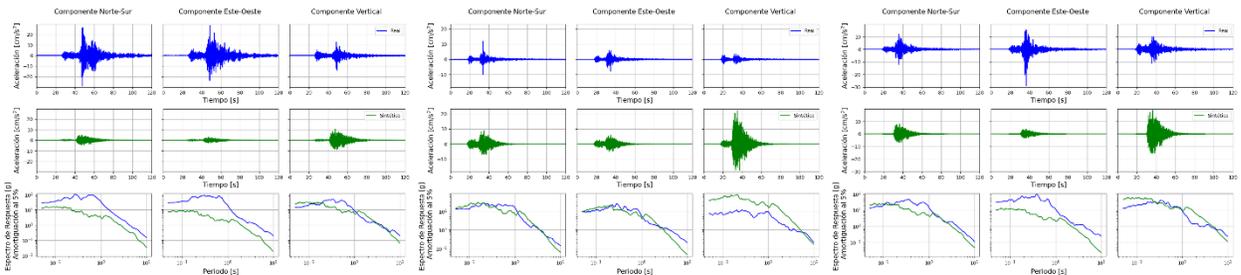


Figura 0-64. Estación A07F.

Figura 0-65. Estación A11F.

Figura 0-66. Estación PB02.

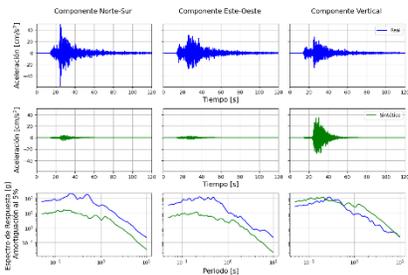


Figura 0-67. Estación T01A.

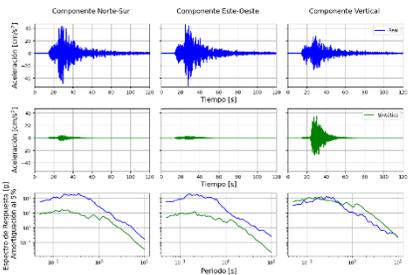


Figura 0-68. Estación T02A.

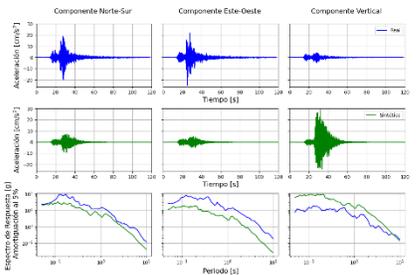


Figura 0-69. Estación T03A.

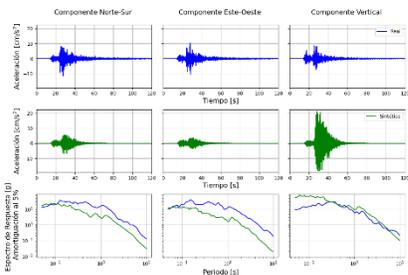


Figura 0-70. Estación T04A.

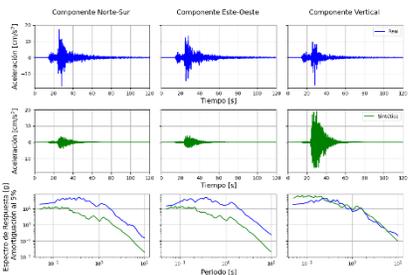


Figura 0-71. Estación T05A.

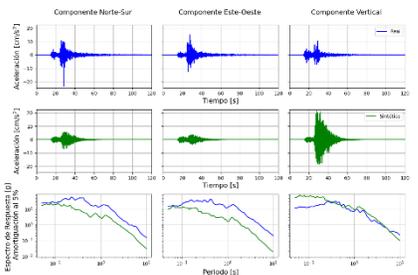


Figura 0-72. Estación T06A.

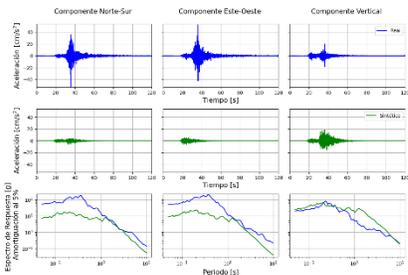


Figura 0-73. Estación T07A.

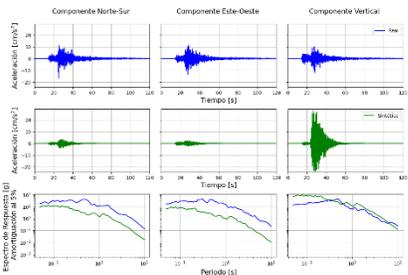


Figura 0-74. Estación T08A.

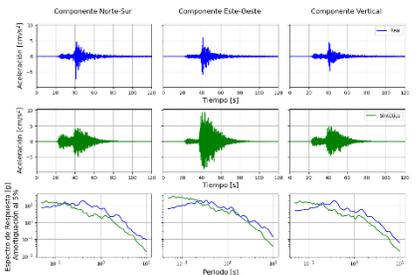


Figura 0-75. Estación T09A.

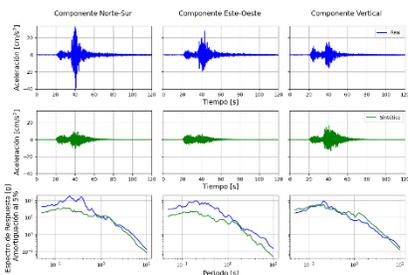


Figura 0-76. Estación T10A.

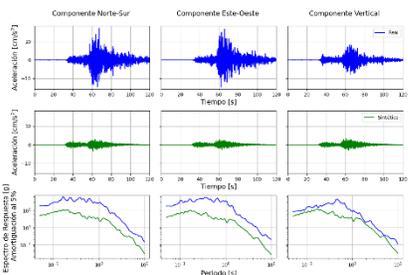


Figura 0-77. Estación T11A.

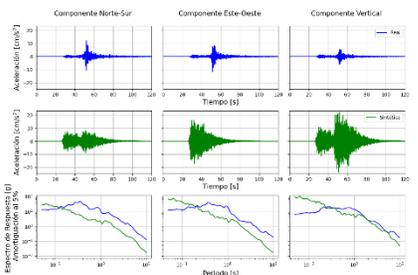


Figura 0-78. Estación T12A.

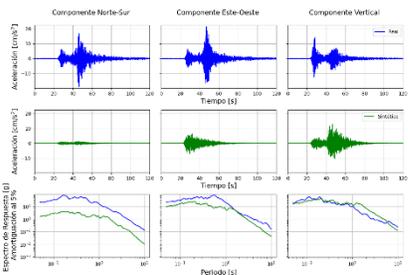


Figura 0-79. Estación T13A.

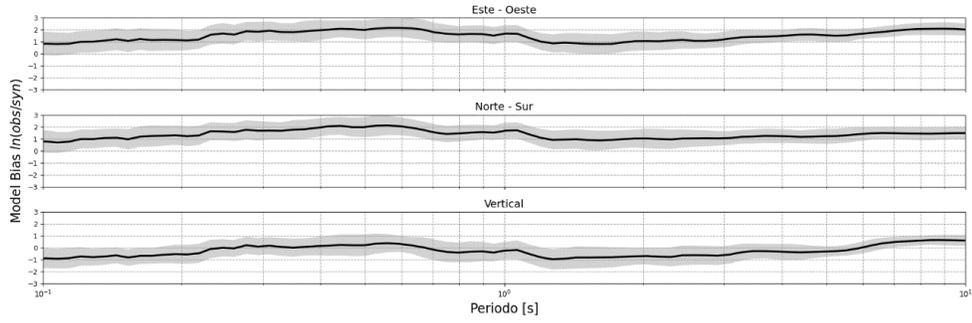


Figura 0-80. GOF del evento.

Evento N.º9

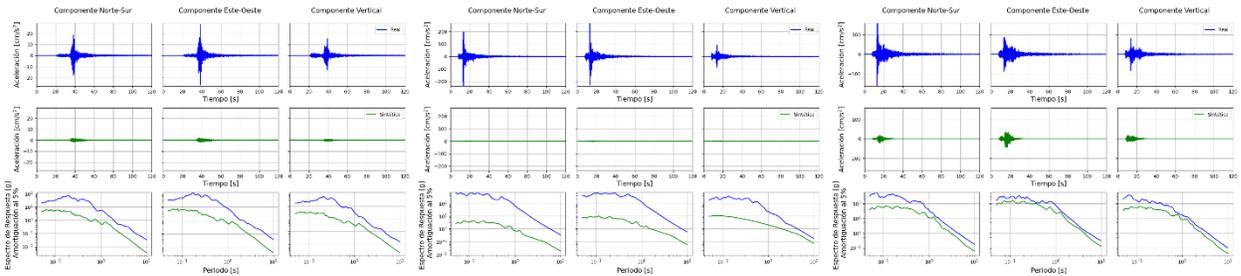


Figura 0-81. Estación PB01.

Figura 0-82. Estación T01A.

Figura 0-83. Estación T01A.

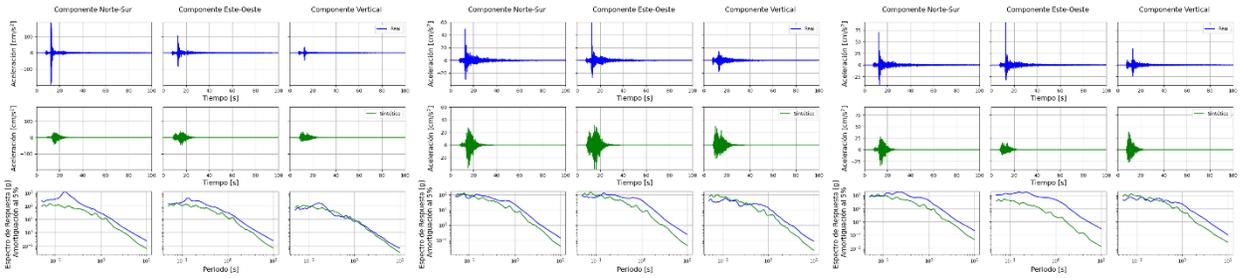


Figura 0-84. Estación T03A.

Figura 0-85. Estación T04A.

Figura 0-86. Estación T05A.

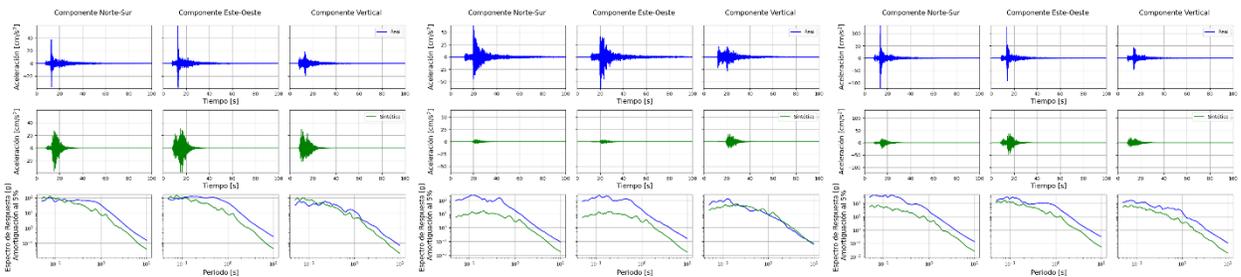


Figura 0-87. Estación T06A.

Figura 0-88. Estación T07A.

Figura 0-89. Estación T08A.

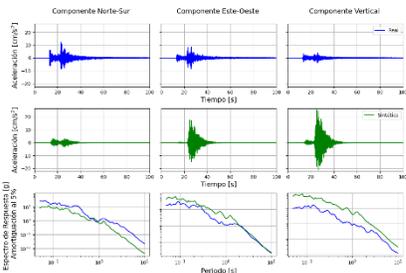


Figura 0-90. Estación T09A.

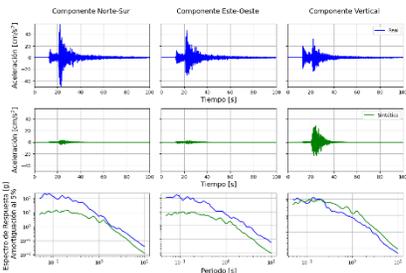


Figura 0-91. Estación T10A.

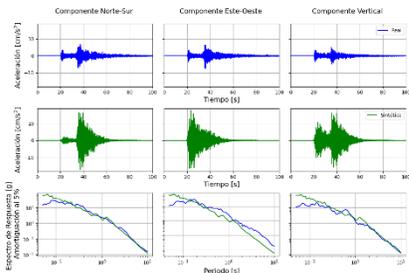


Figura 0-92. Estación T12A.

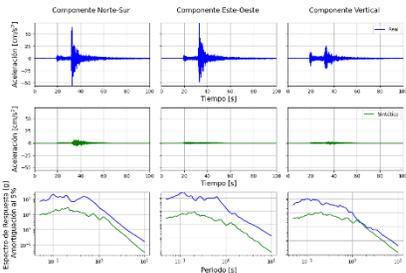


Figura 0-93. Estación T13A.

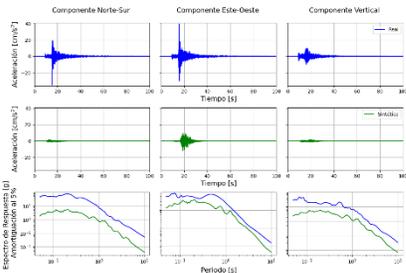


Figura 0-94. Estación TA01.

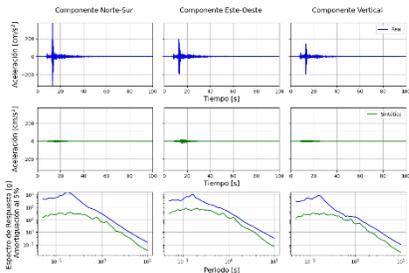


Figura 0-95. Estación TA02.

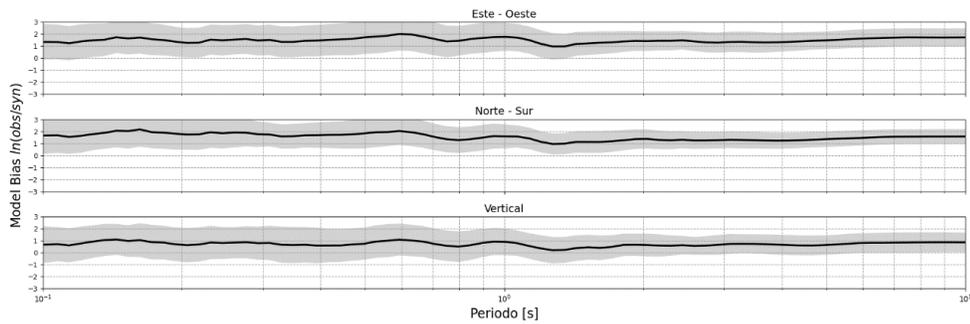


Figura 0-96. GOF del evento.

Evento N.º 10

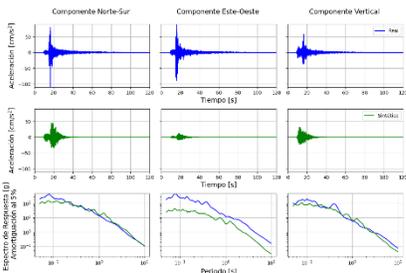


Figura 0-97. Estación C010.

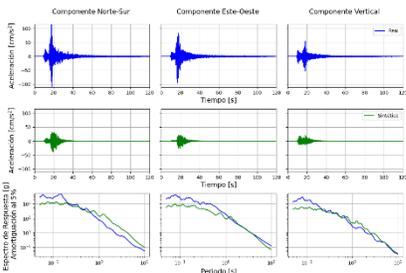


Figura 0-98. Estación C090.

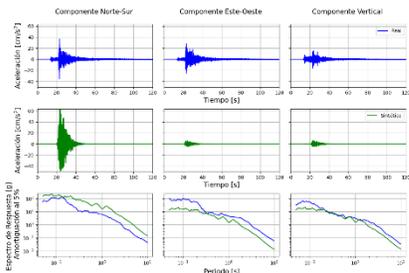


Figura 0-99. Estación C100.

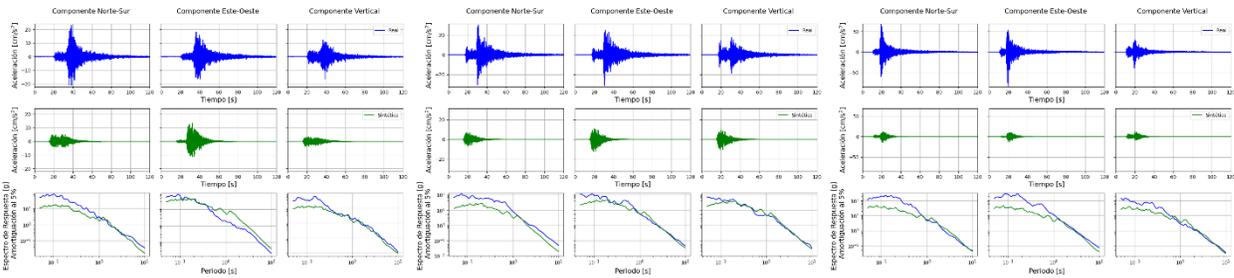


Figura 0-100. Estación C110.

Figura 0-101. Estación C140.

Figura 0-102. Estación C150.

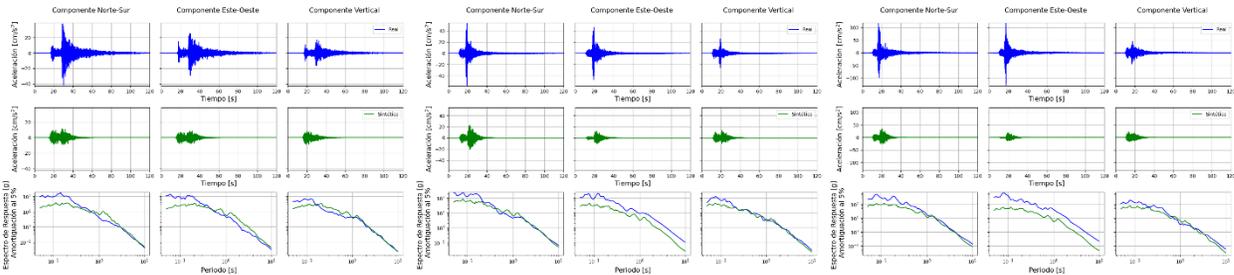


Figura 0-103. Estación C180.

Figura 0-104. Estación C190.

Figura 0-105. Estación C200.

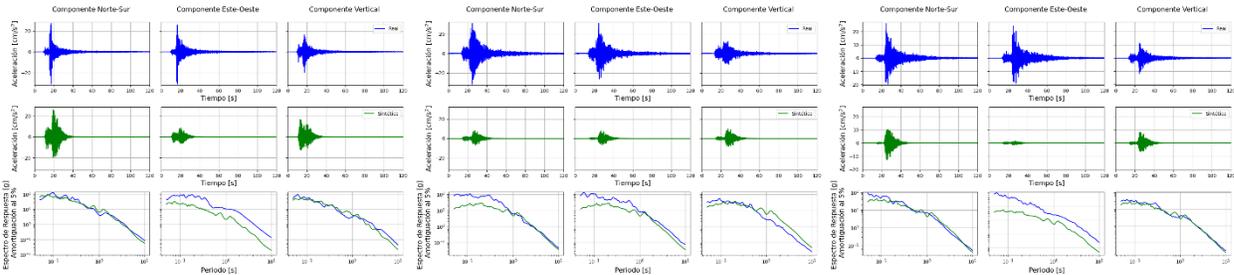


Figura 0-106. Estación C220.

Figura 0-107. Estación C260.

Figura 0-108. Estación C270.

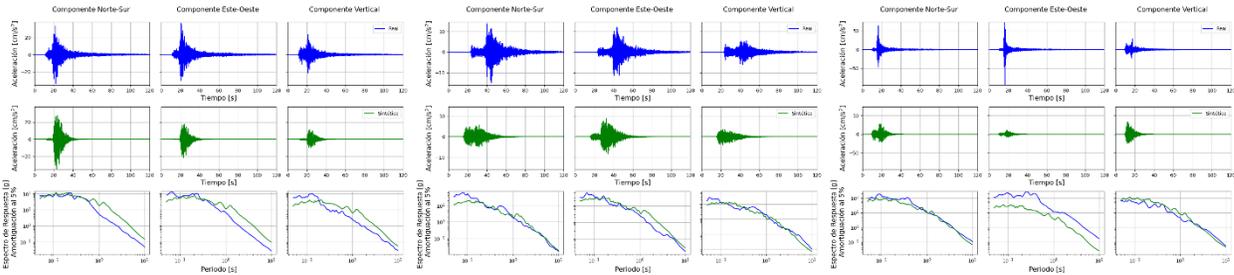


Figura 0-109. Estación C280.

Figura 0-110. Estación C320.

Figura 0-111. Estación C330.

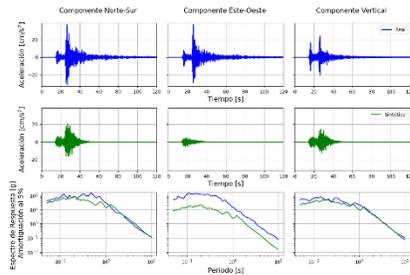


Figura 0-112. Estación GO04.

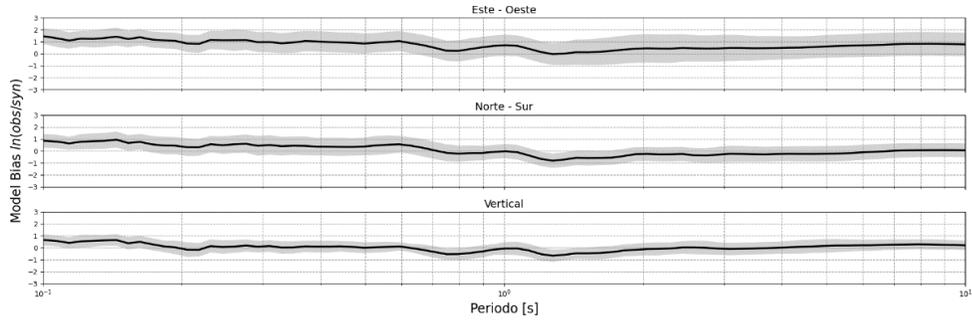


Figura 0-113. GOF del evento.

Evento N.º11

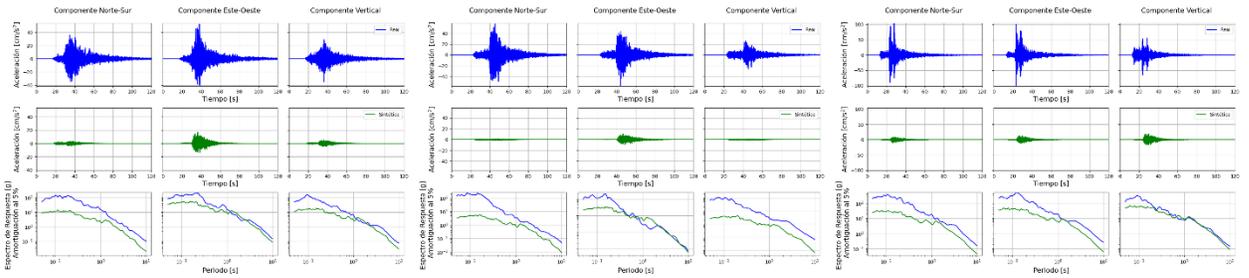


Figura 0-114. Estación C010.

Figura 0-115. Estación C090.

Figura 0-116. Estación C100.

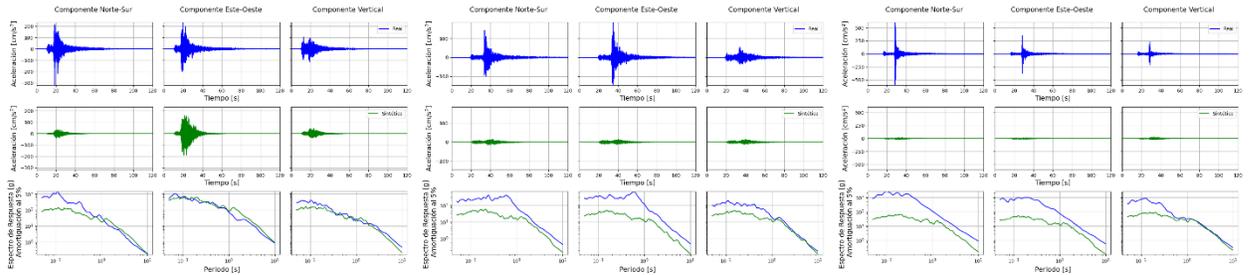


Figura 0-117. Estación C110.

Figura 0-118. Estación C140.

Figura 0-119. Estación C180.

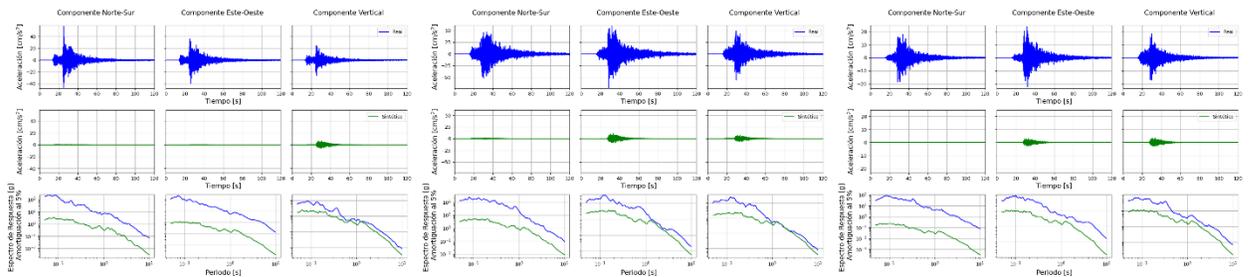


Figura 0-120. Estación C190.

Figura 0-121. Estación C200.

Figura 0-122. Estación C220.

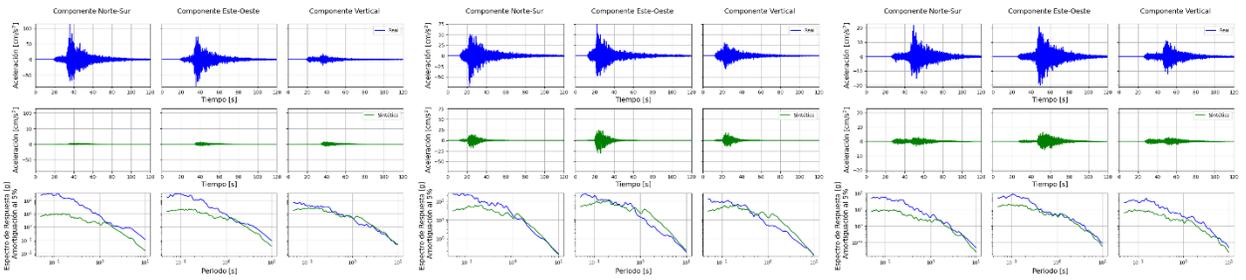


Figura 0-123. Estación C230.

Figura 0-124. Estación C260.

Figura 0-125. Estación C270.

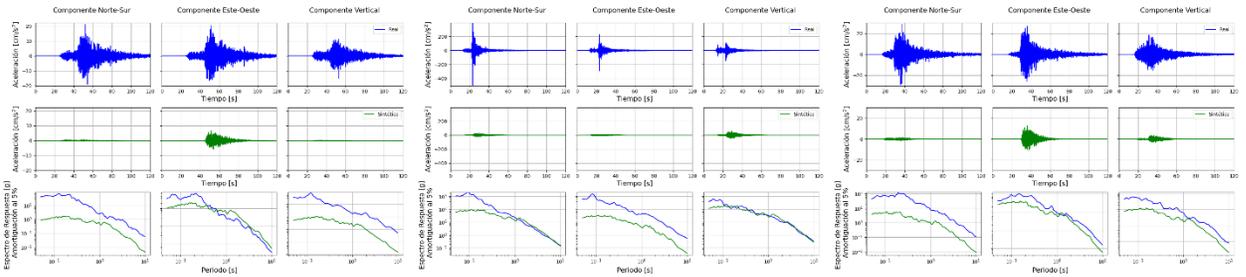


Figura 0-126. Estación C280.

Figura 0-127. Estación C320.

Figura 0-128. Estación C330.

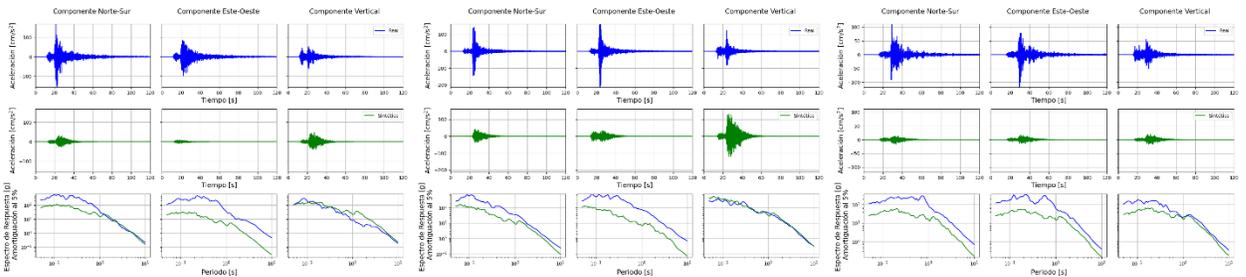


Figura 0-129. Estación CO02.

Figura 0-130. Estación CO03.

Figura 0-131. Estación GO04.

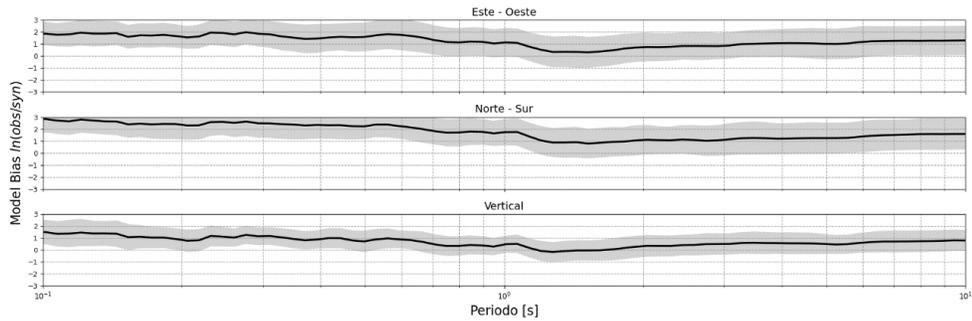


Figura 0-132. GOF del evento.

Evento N.º 12

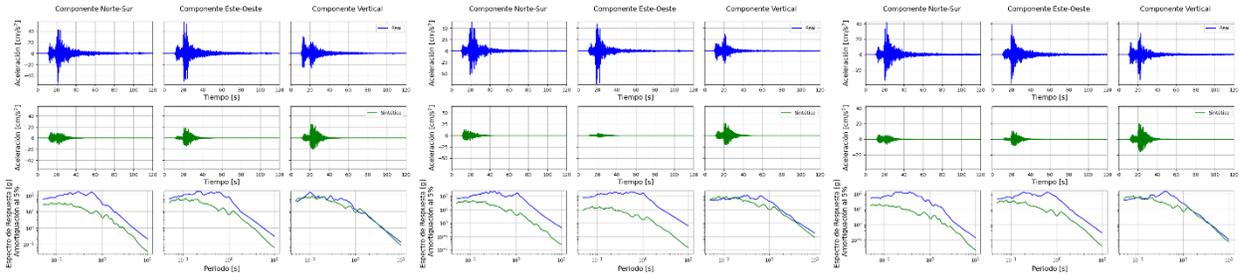


Figura 0-133. Estación C010.

Figura 0-134. Estación C040.

Figura 0-135. Estación C060.

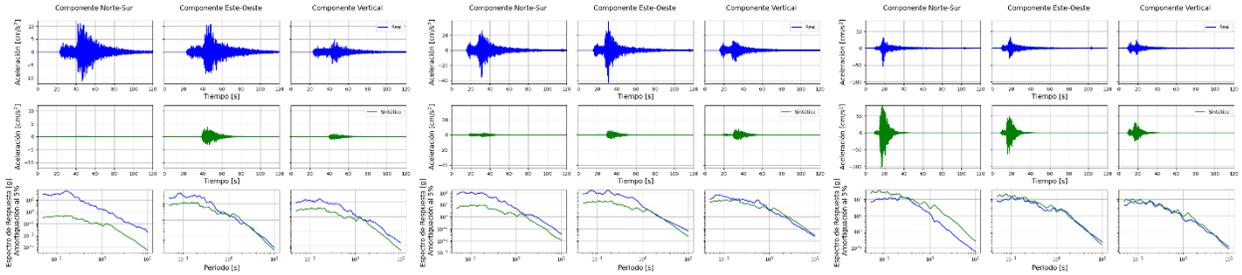


Figura 0-136. Estación C070.

Figura 0-137. Estación C090.

Figura 0-138. Estación C100.

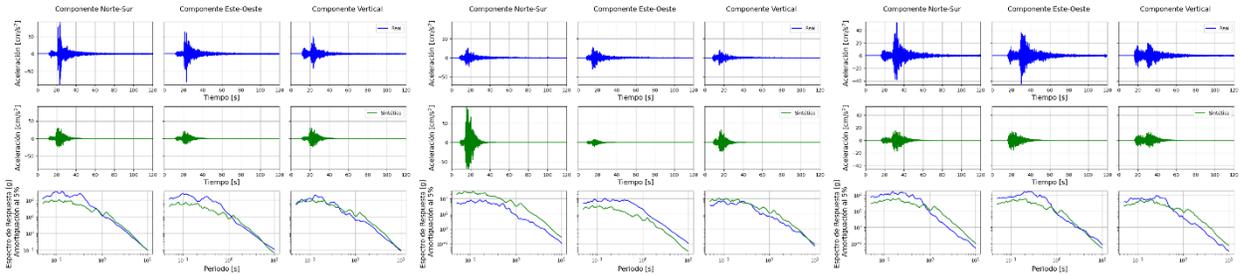


Figura 0-139. Estación C110.

Figura 0-140. Estación C130.

Figura 0-141. Estación C140.

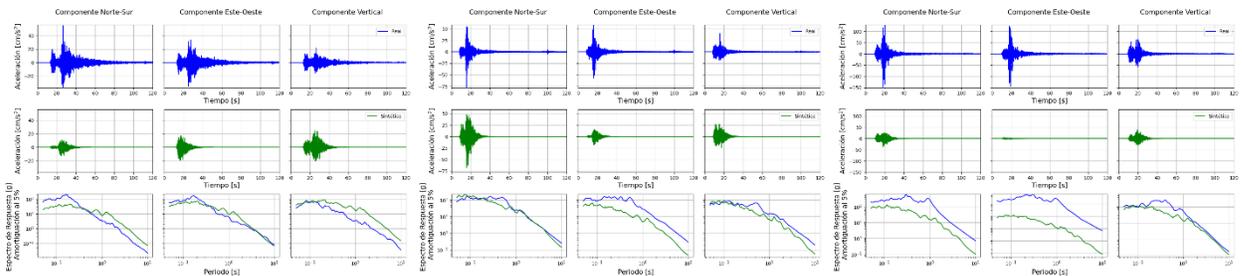


Figura 0-142. Estación C180.

Figura 0-143. Estación C190.

Figura 0-144. Estación C200.

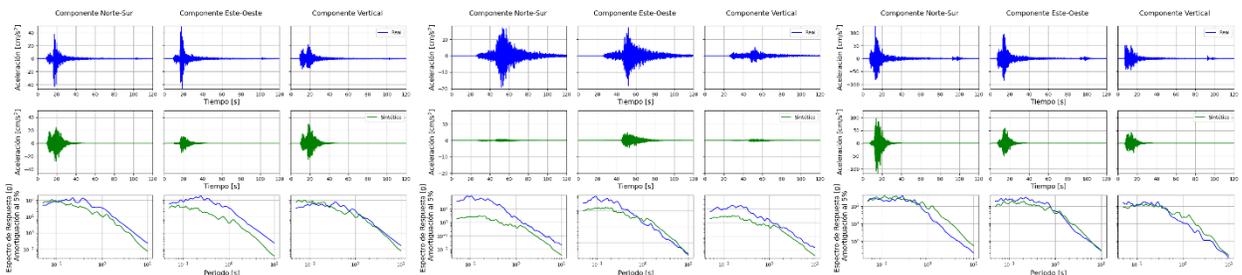


Figura 0-145. Estación C220.

Figura 0-146. Estación C230.

Figura 0-147. Estación C260.

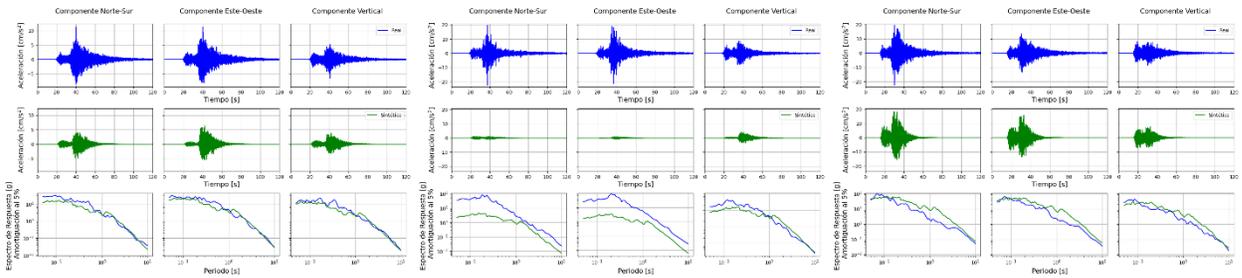


Figura 0-148. Estación C270. Figura 0-149. Estación C280. Figura 0-150. Estación C320.

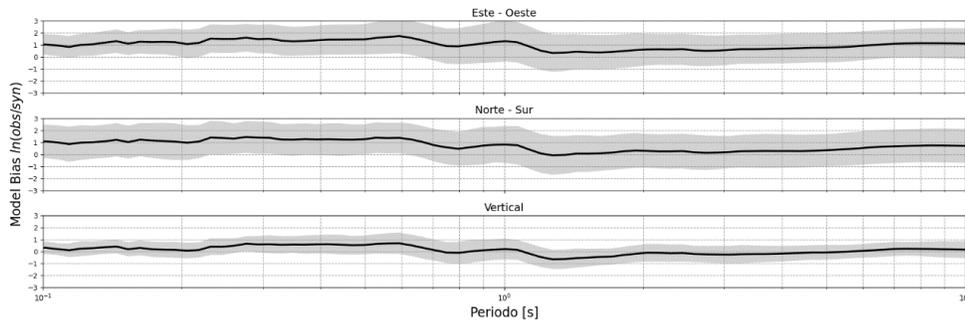


Figura 0-151. GOF del evento.

Evento N.º 13

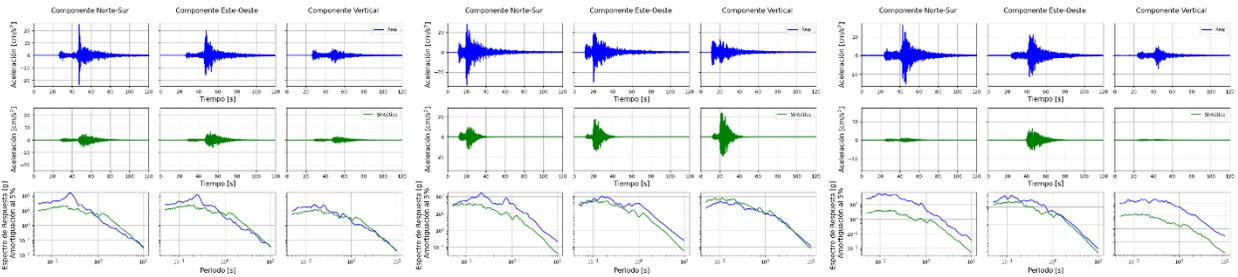


Figura 0-152. Estación A24C. Figura 0-153. Estación C010. Figura 0-154. Estación C070.

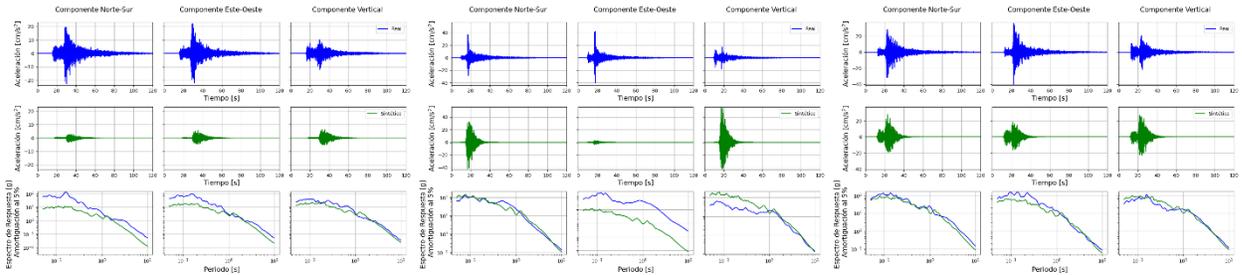


Figura 0-155. Estación C090. Figura 0-156. Estación C100. Figura 0-157. Estación C110.

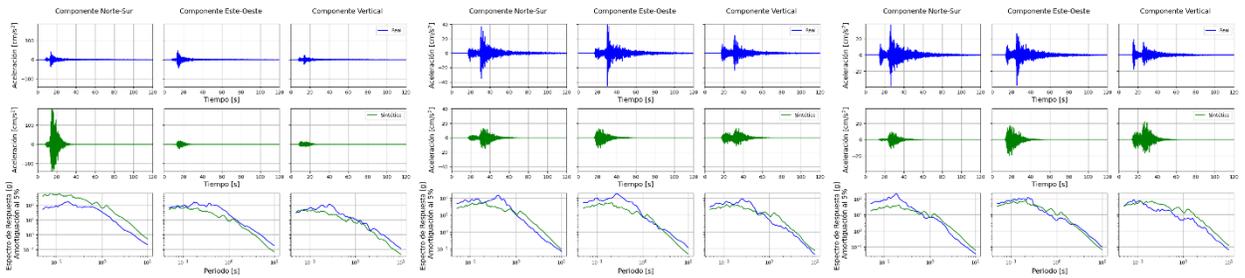


Figura 0-158. Estación C130. Figura 0-159. Estación C140. Figura 0-160. Estación C180.

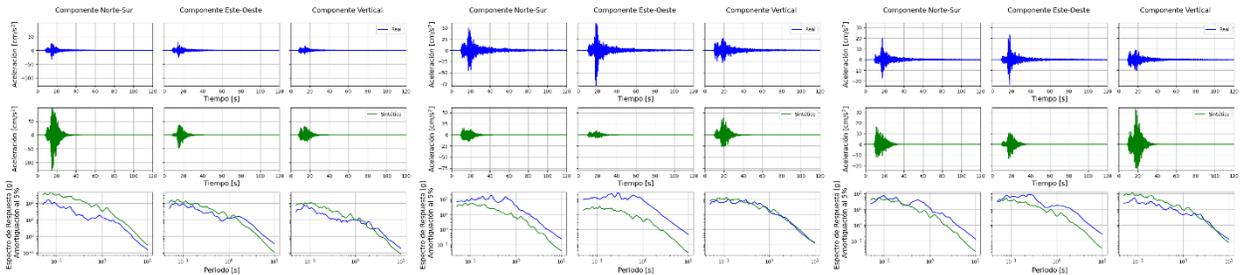


Figura 0-161. Estación C190. Figura 0-162. Estación C200. Figura 0-163. Estación C220.

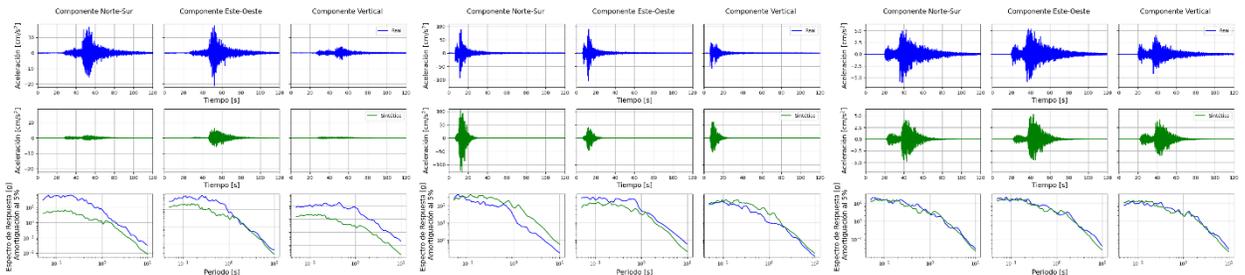


Figura 0-164. Estación C230. Figura 0-165. Estación C260. Figura 0-166. Estación C270.

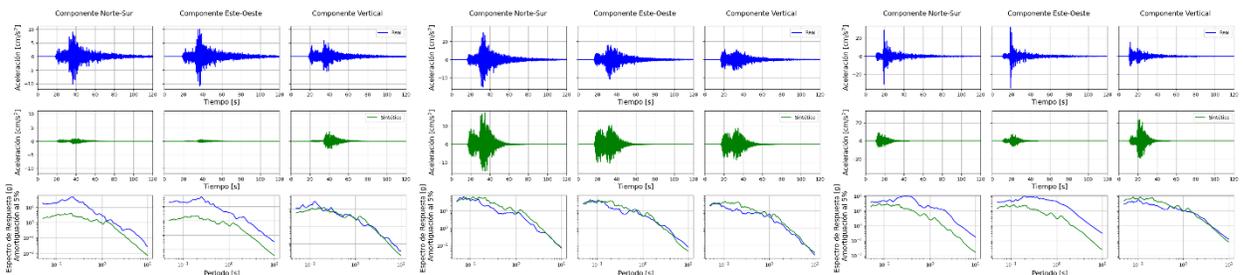


Figura 0-167. Estación C280. Figura 0-168. Estación C320. Figura 0-169. Estación C330.

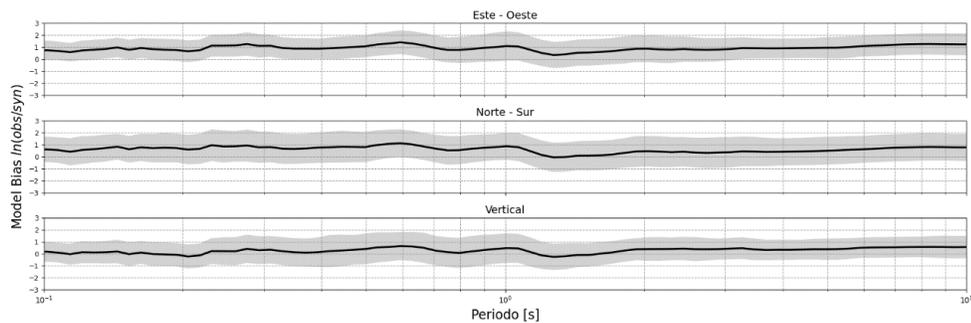


Figura 0-170. GOF del evento.

Evento N.º 14

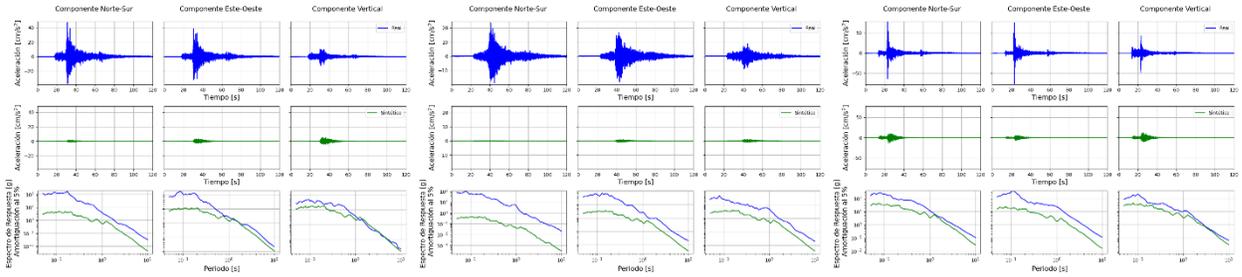


Figura 0-171. Estación C070. Figura 0-172. Estación C090. Figura 0-173. Estación C100.

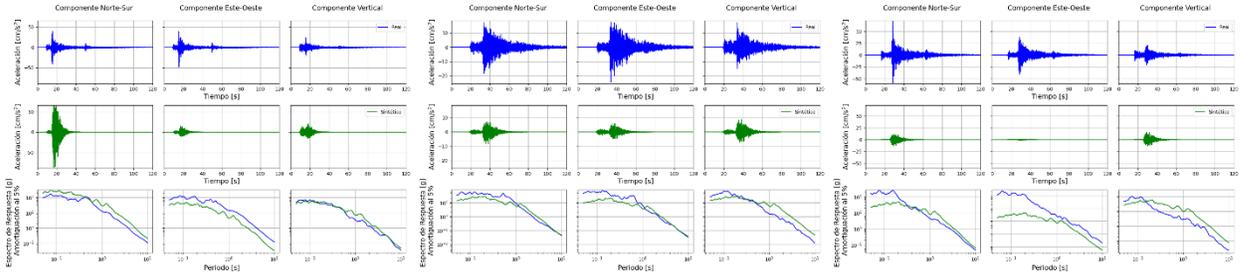


Figura 0-174. Estación C130. Figura 0-175. Estación C140. Figura 0-176. Estación C180.

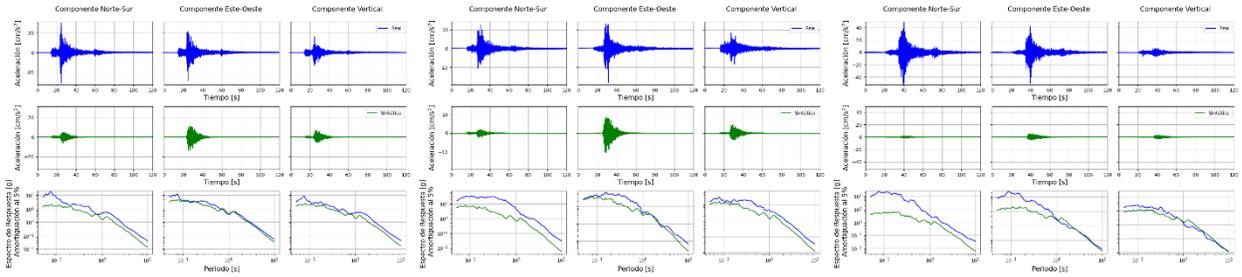


Figura 0-177. Estación C190. Figura 0-178. Estación C220. Figura 0-179. Estación C230.

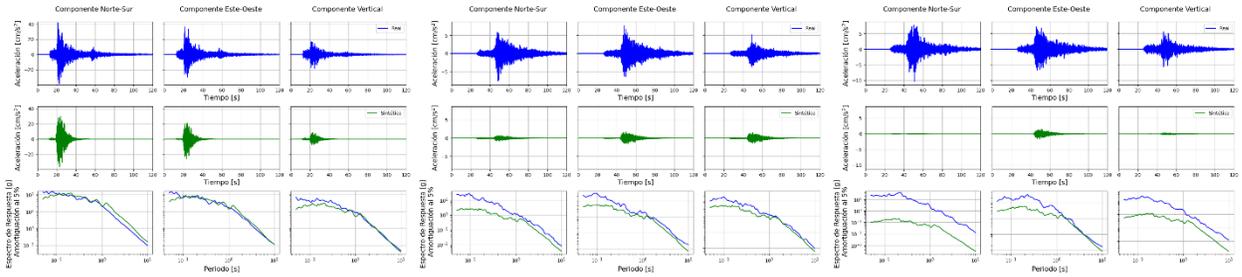


Figura 0-180. Estación C260. Figura 0-181. Estación C270. Figura 0-182. Estación C280.

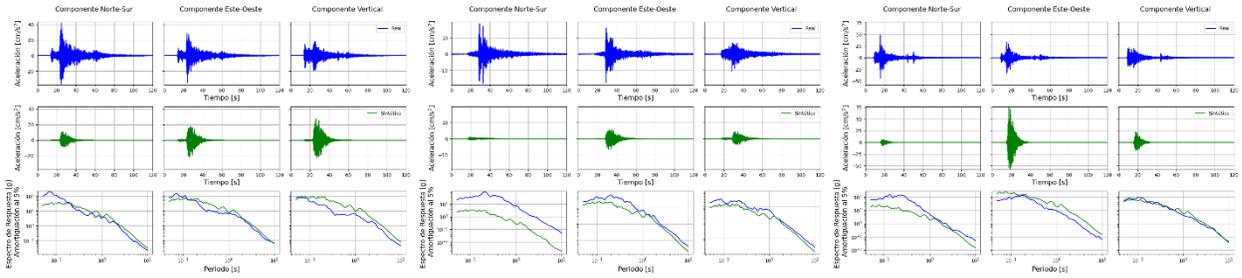


Figura 0-183. Estación C320. Figura 0-184. Estación C330. Figura 0-185. Estación C006.

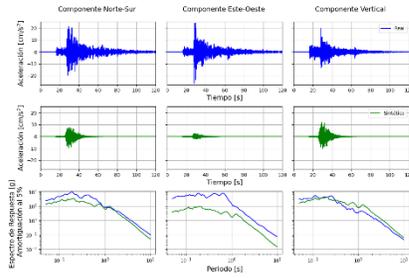


Figura 0-186. Estación GO04.

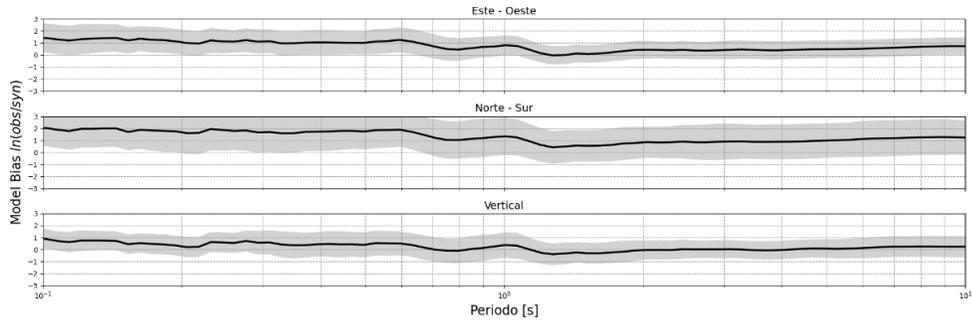


Figura 0-187. GOF del evento.

Evento N.º 16

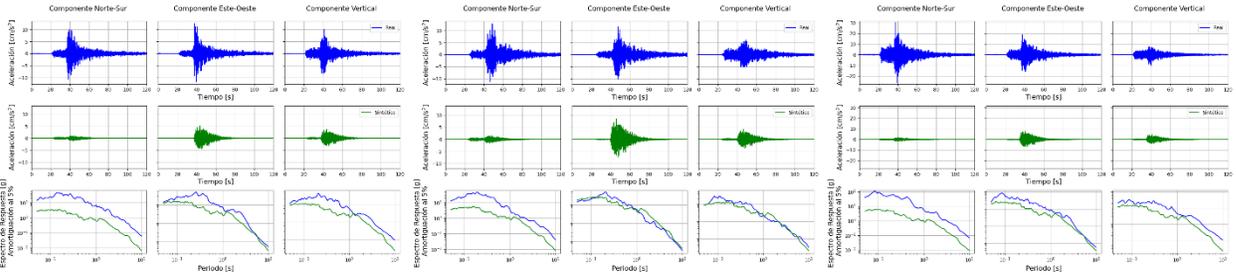


Figura 0-188. Estación A01F.

Figura 0-189. Estación A03F.

Figura 0-190. Estación A04F.

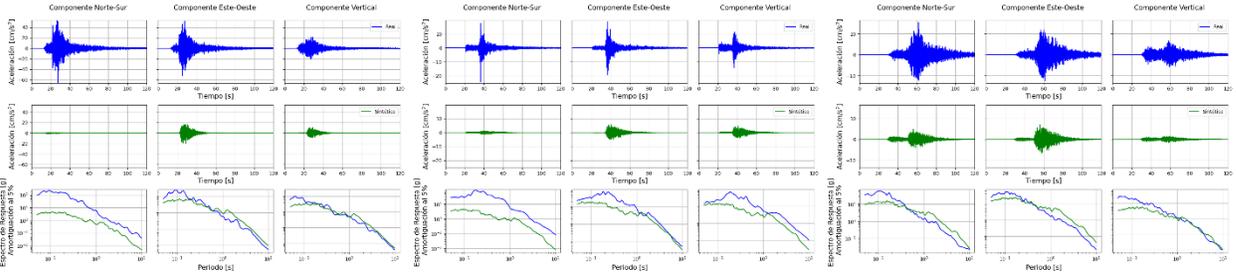


Figura 0-191. Estación A10F.

Figura 0-192. Estación A15F.

Figura 0-193. Estación A16C.

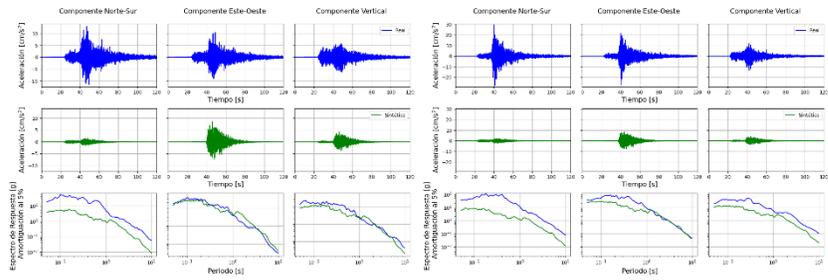


Figura 0-194. Estación A19F. Figura 0-195. Estación A24F.

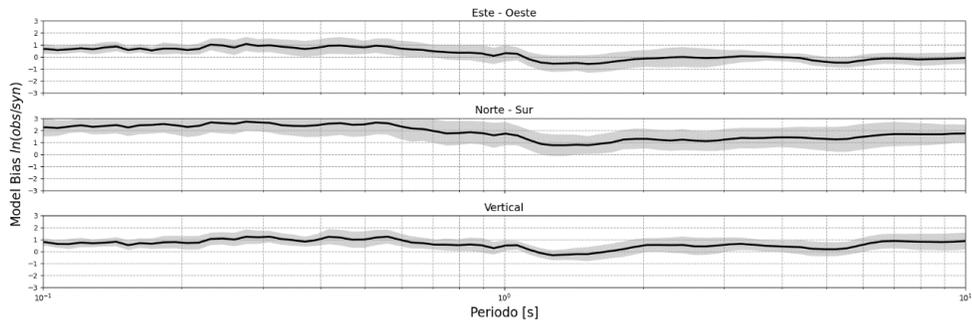


Figura 0-196. GOF del evento.

Evento N.º 18

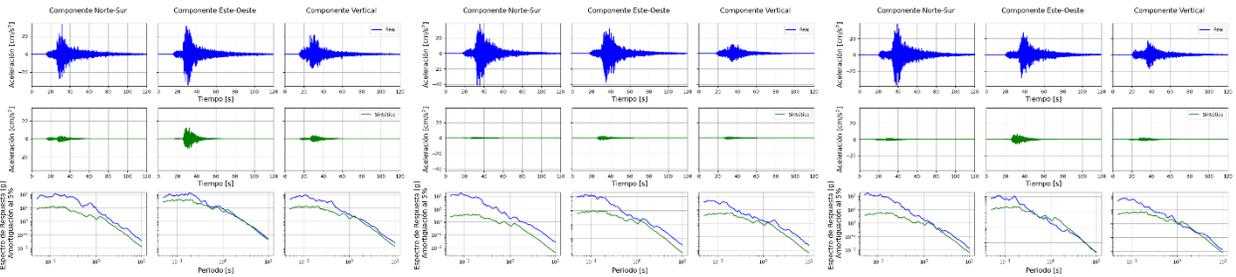


Figura 0-197. Estación C010. Figura 0-198. Estación C070. Figura 0-199. Estación C090.

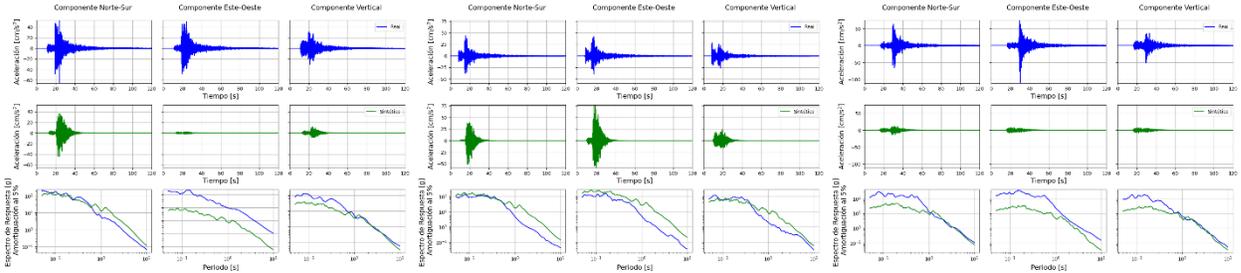


Figura 0-200. Estación C100. Figura 0-201. Estación C130. Figura 0-202. Estación C140.

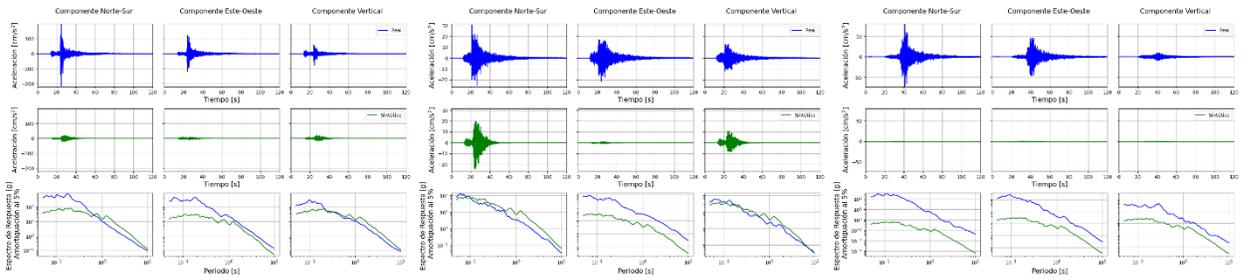


Figura 0-203. Estación C180.

Figura 0-204. Estación C190.

Figura 0-205. Estación C230.

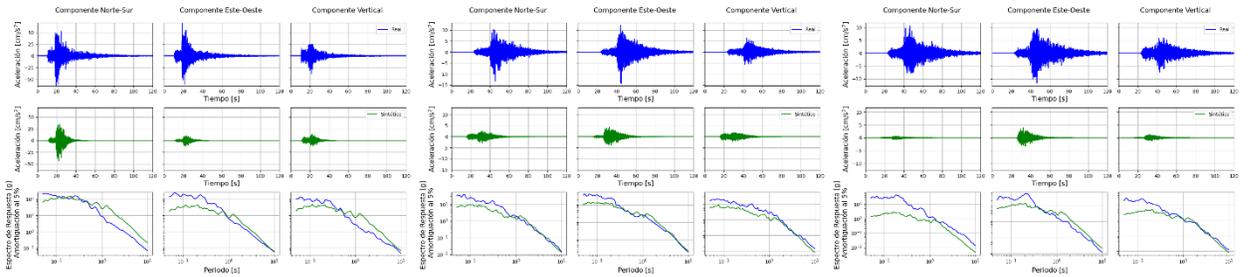


Figura 0-206. Estación C260.

Figura 0-207. Estación C270.

Figura 0-208. Estación C280.

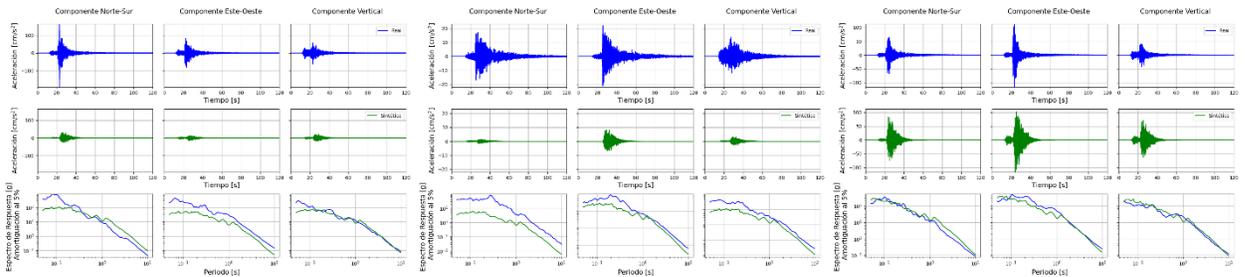


Figura 0-209. Estación C320.

Figura 0-210. Estación C330.

Figura 0-211. Estación CO03.

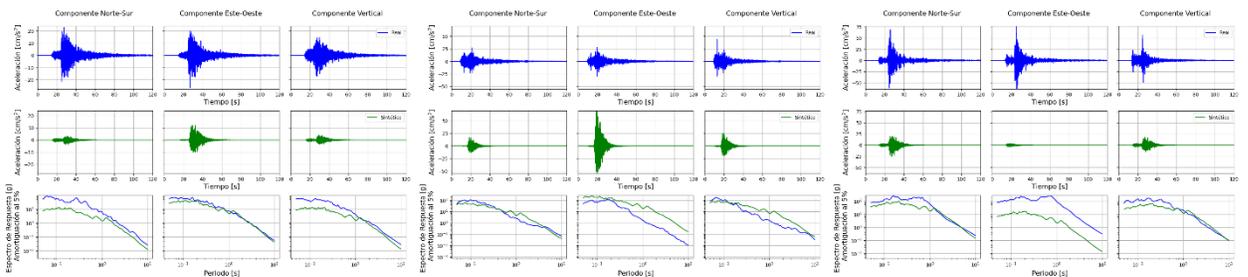


Figura 0-212. Estación CO05.

Figura 0-213. Estación CO06.

Figura 0-214. Estación GO04.

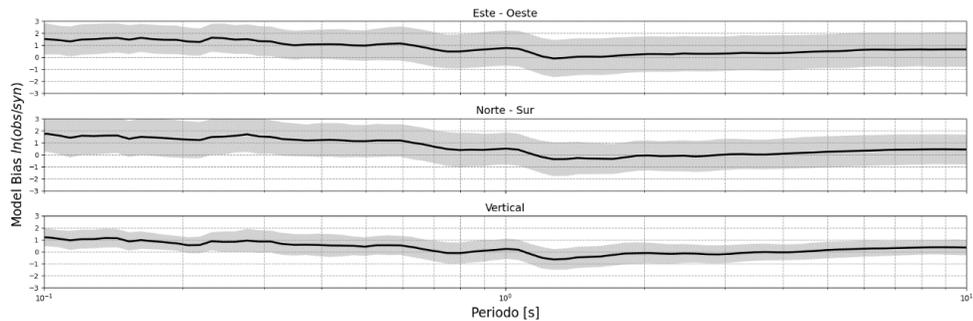


Figura 0-215. GOF del evento.

Evento N.º 19

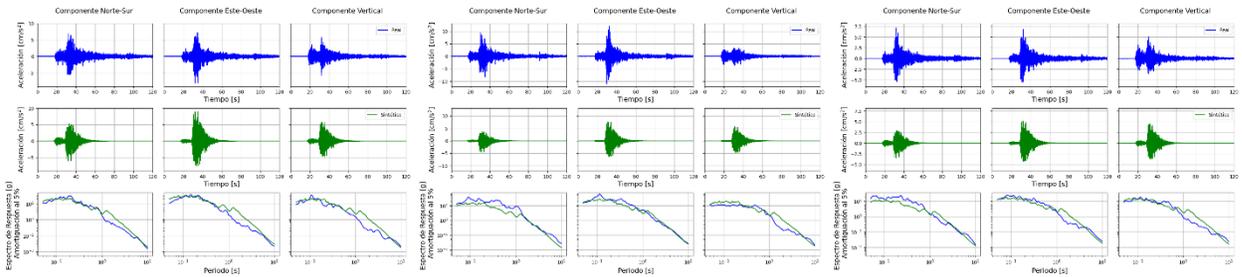


Figura 0-216. Estación C010. Figura 0-217. Estación C040. Figura 0-218. Estación C060.

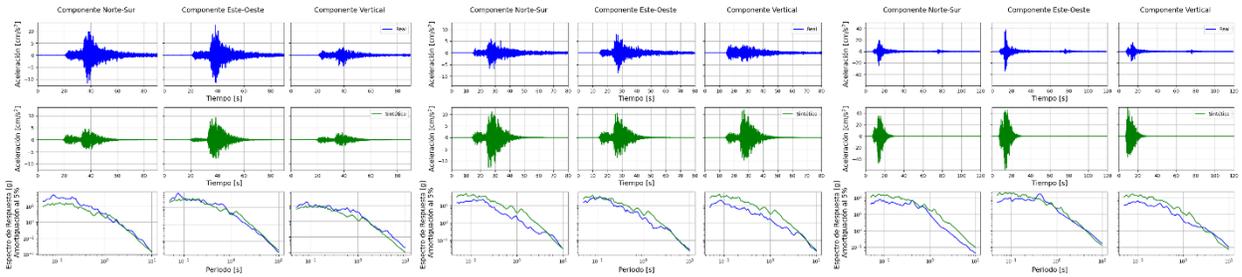


Figura 0-219. Estación C070. Figura 0-220. Estación C100. Figura 0-221. Estación C130.

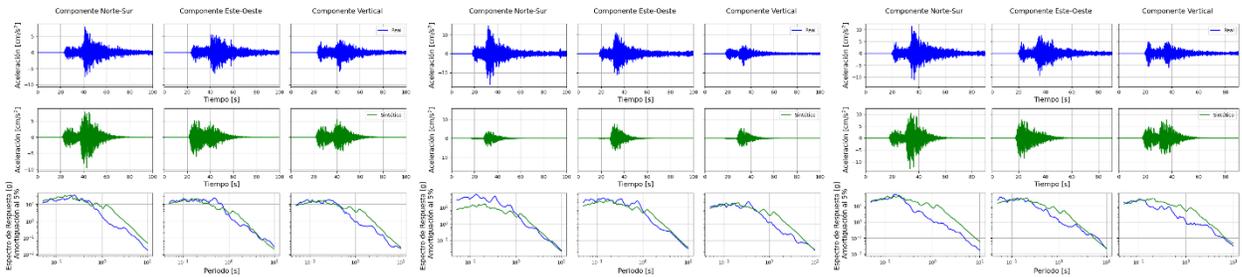


Figura 0-222. Estación C140. Figura 0-223. Estación C160. Figura 0-224. Estación C180.

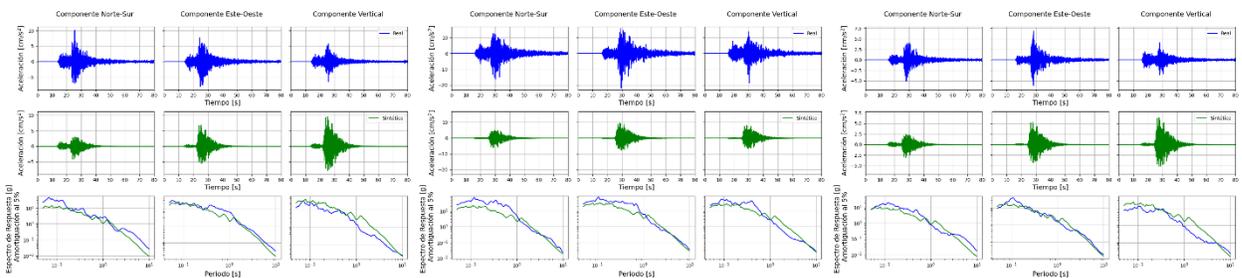


Figura 0-225. Estación C190. Figura 0-226. Estación C200. Figura 0-227. Estación C220.

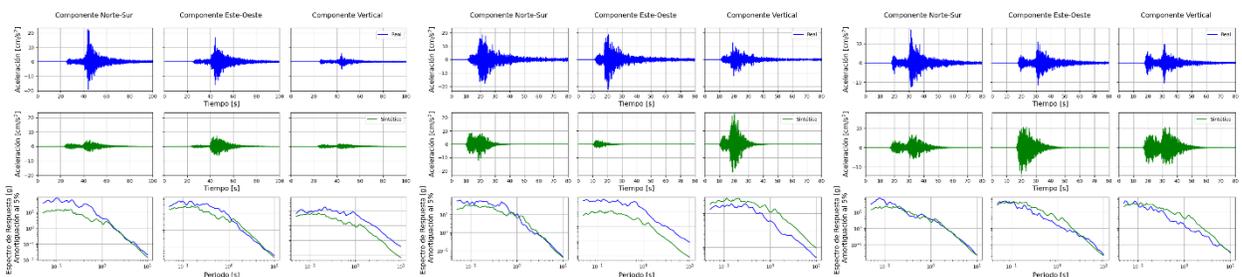


Figura 0-228. Estación C230. Figura 0-229. Estación C260. Figura 0-230. Estación C320.

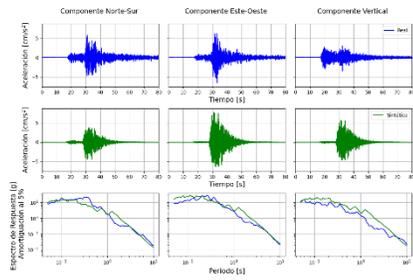


Figura 0-231. Estación C330.

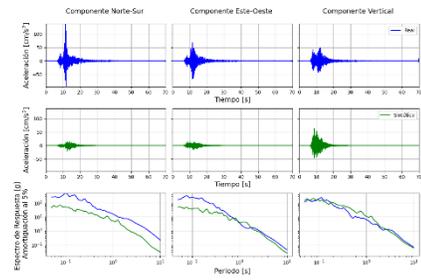


Figura 0-232. Estación CO06.

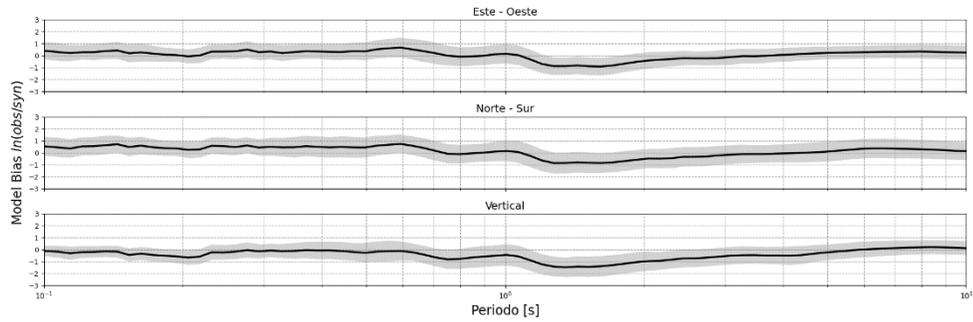


Figura 0-233. GOF del evento.

Evento N.º 20

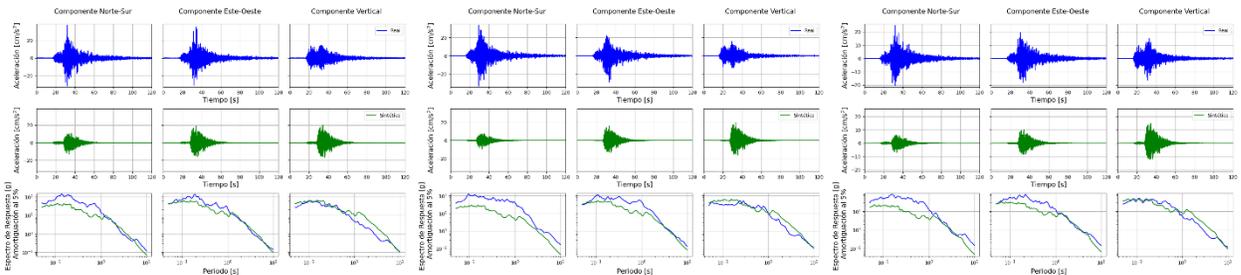


Figura 0-234. Estación C010.

Figura 0-235. Estación C040.

Figura 0-236. Estación C060.

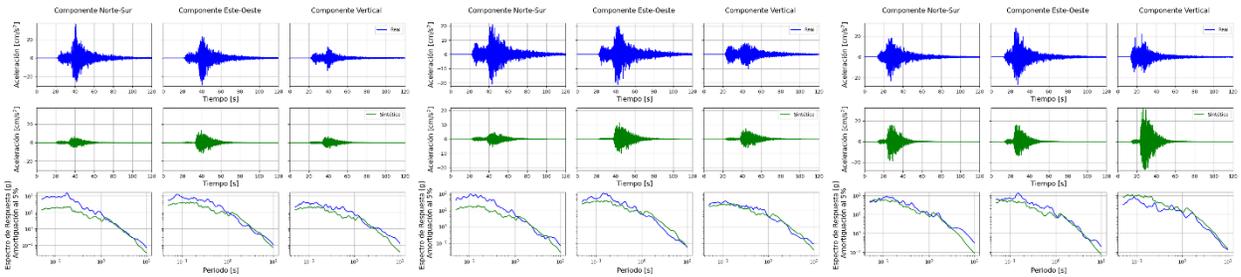


Figura 0-237. Estación C070.

Figura 0-238. Estación C090.

Figura 0-239. Estación C100.

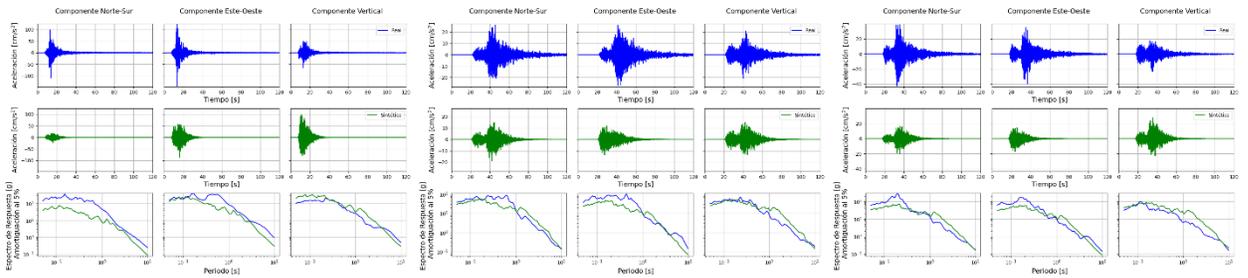


Figura 0-240. Estación C130.

Figura 0-241. Estación C140.

Figura 0-242. Estación C180.

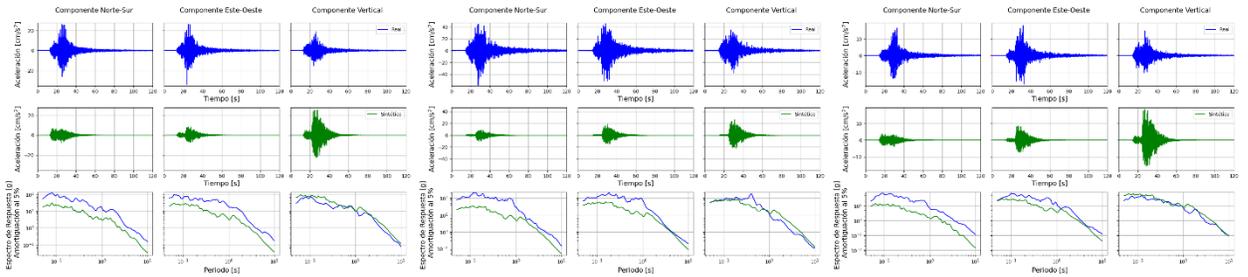


Figura 0-243. Estación C190.

Figura 0-244. Estación C200.

Figura 0-245. Estación C220.

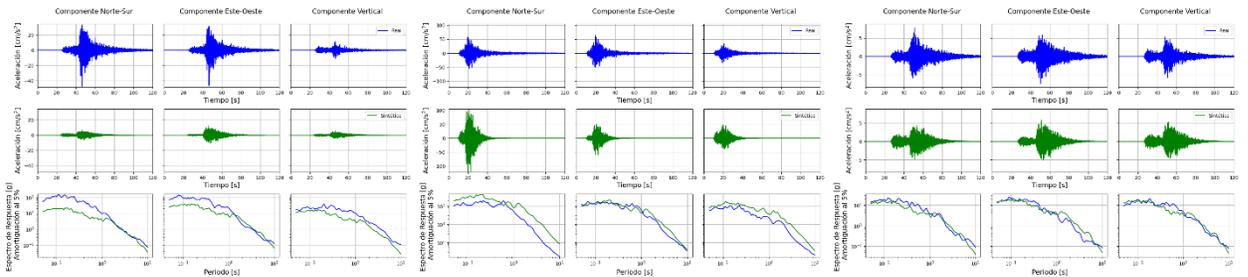


Figura 0-246. Estación C230.

Figura 0-247. Estación C260.

Figura 0-248. Estación C270.

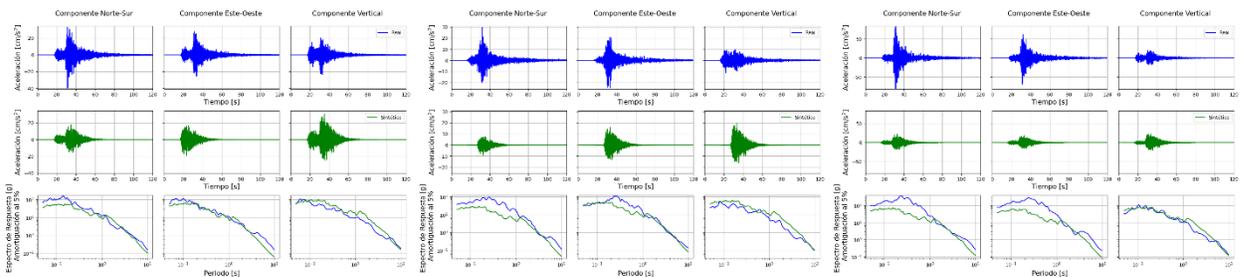


Figura 0-249. Estación C320.

Figura 0-250. Estación C330.

Figura 0-251. Estación C350.

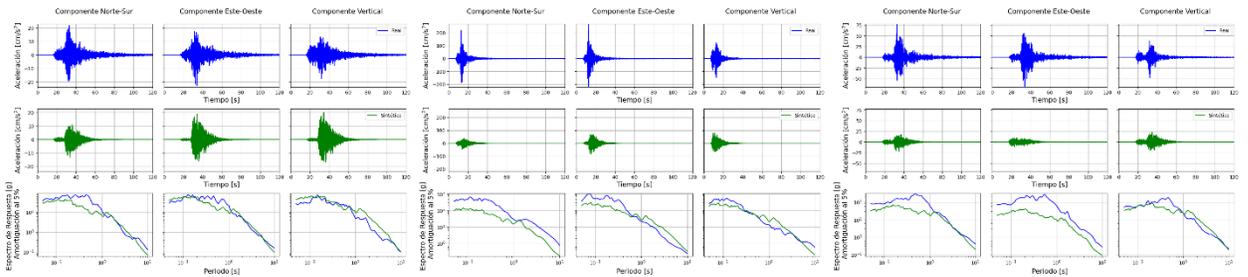


Figura 0-252. Estación CO05.

Figura 0-253. Estación CO06.

Figura 0-254. Estación GO04.

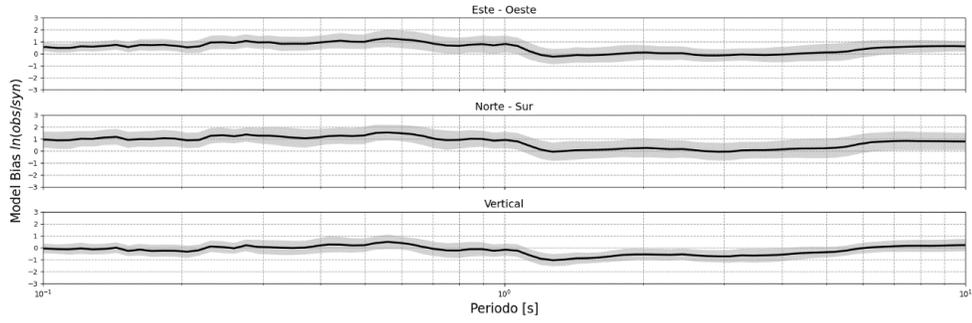


Figura 0-255. GOF del evento.

Evento N.º21

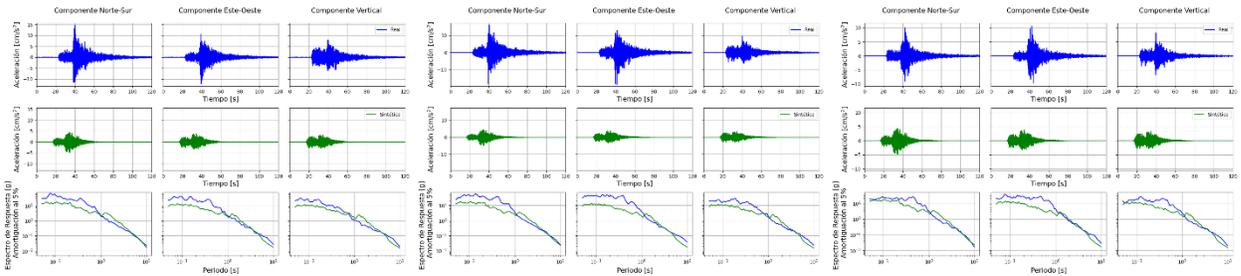


Figura 0-256. Estación A09C.

Figura 0-257. Estación A10C.

Figura 0-258. Estación A12C.

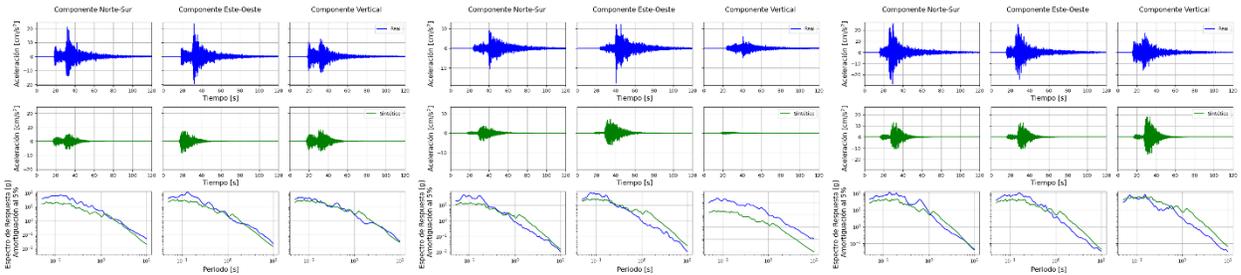


Figura 0-259. Estación A25C.

Figura 0-260. Estación AC04.

Figura 0-261. Estación C010.

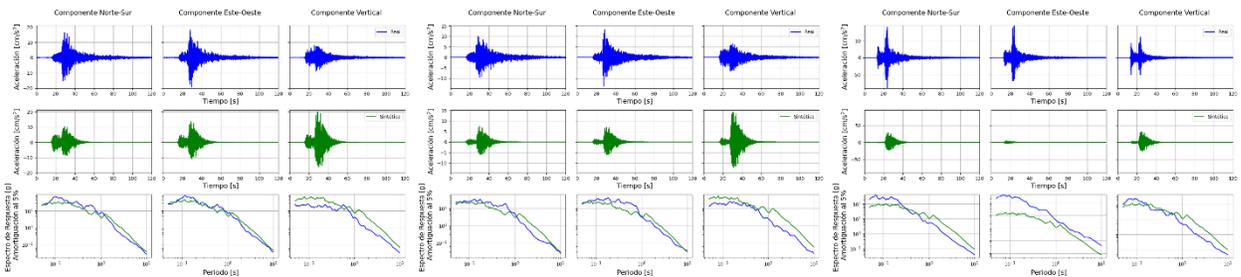


Figura 0-262. Estación C040.

Figura 0-263. Estación C060.

Figura 0-264. Estación C090.

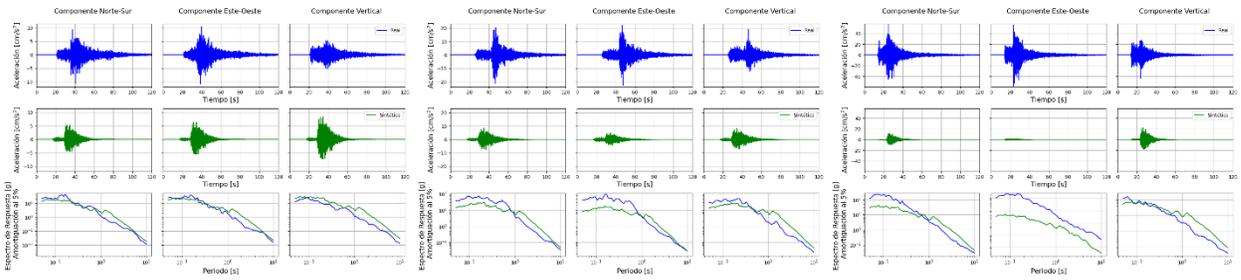


Figura 0-265. Estación C100.

Figura 0-266. Estación C140.

Figura 0-267. Estación C150.

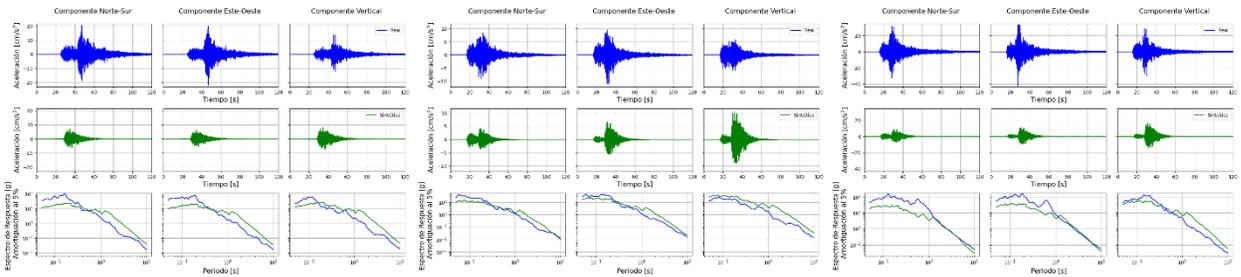


Figura 0-268. Estación C180.

Figura 0-269. Estación C190.

Figura 0-270. Estación C200.

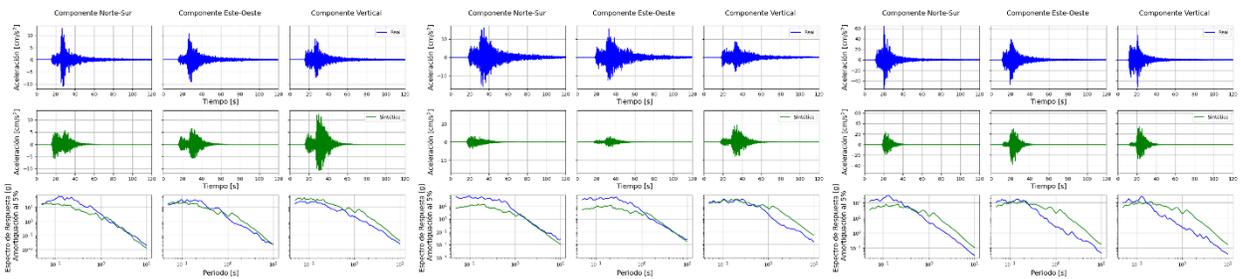


Figura 0-271. Estación C220.

Figura 0-272. Estación C260.

Figura 0-273. Estación C280.

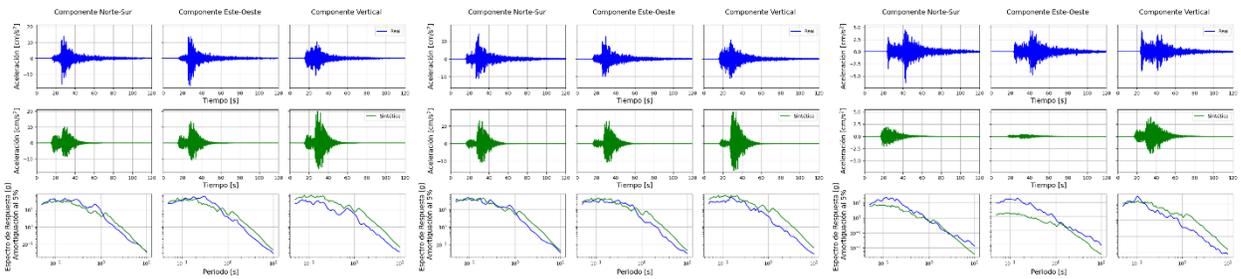


Figura 0-274. Estación C330.

Figura 0-275. Estación CO05.

Figura 0-276. Estación CO06.

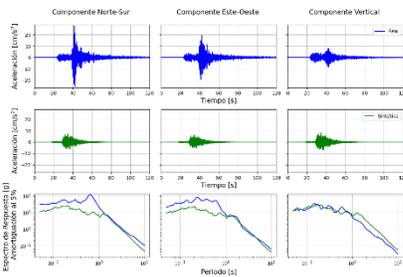


Figura 0-277. Estación GO04.

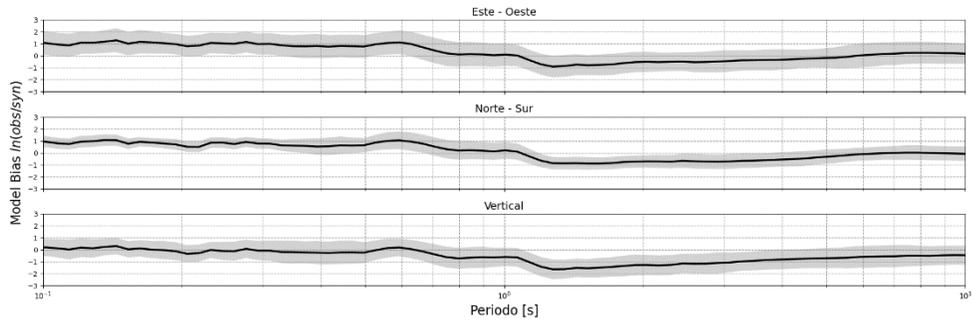


Figura 0-278. GOF del evento.

Evento N.º22

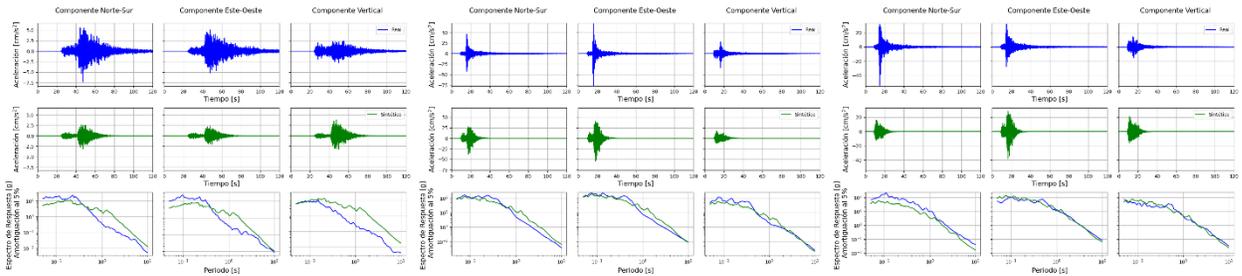


Figura 0-279. Estación A24C.

Figura 0-280. Estación C010.

Figura 0-281. Estación C040.

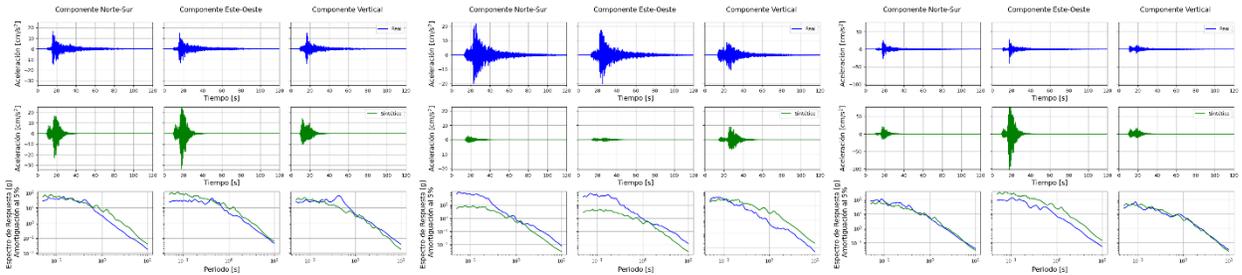


Figura 0-282. Estación C060.

Figura 0-283. Estación C090.

Figura 0-284. Estación C100.

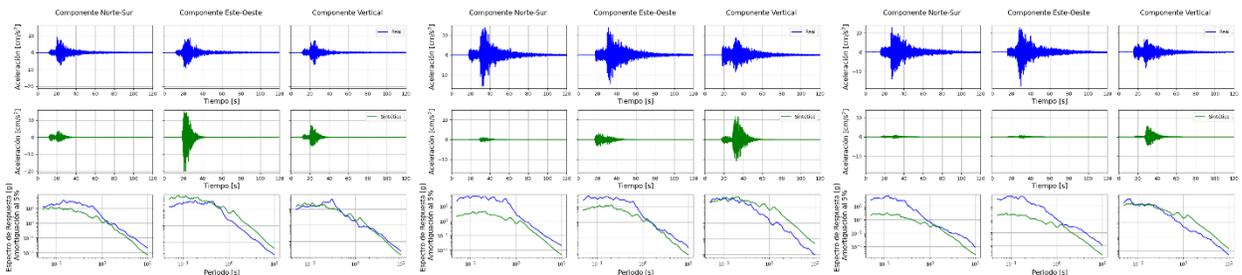


Figura 0-285. Estación C130.

Figura 0-286. Estación C140.

Figura 0-287. Estación C150.

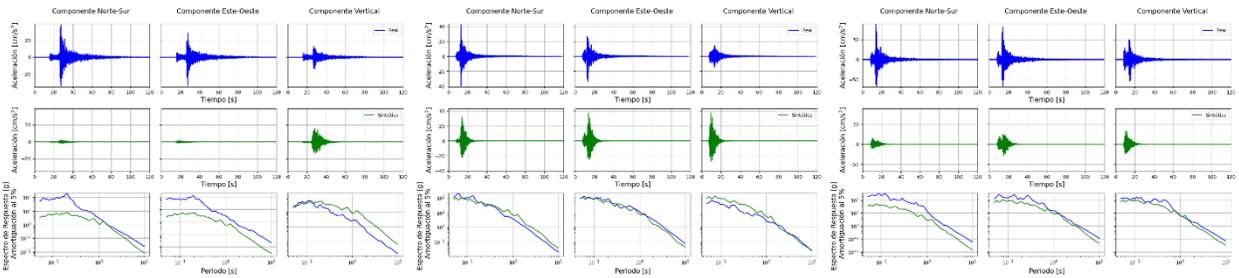


Figura 0-288. Estación C180.

Figura 0-289. Estación C190.

Figura 0-290. Estación C200.

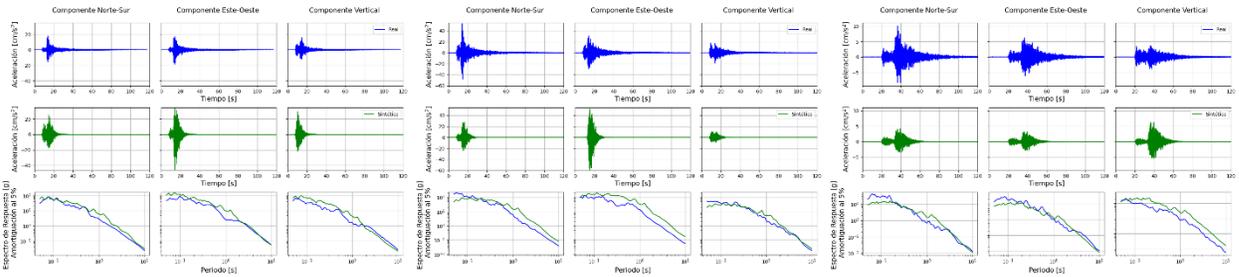


Figura 0-291. Estación C220.

Figura 0-292. Estación C260.

Figura 0-293. Estación C320.

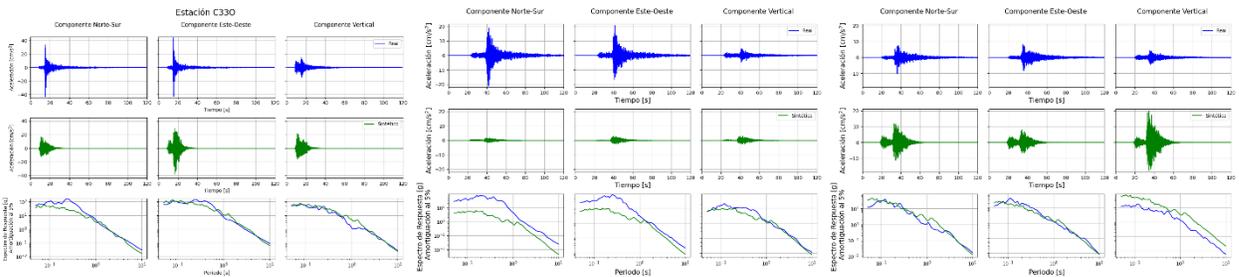


Figura 0-294. Estación C330.

Figura 0-295. Estación CO02.

Figura 0-296. Estación CO03.

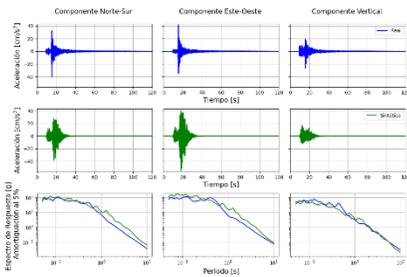


Figura 0-297. Estación CO05.

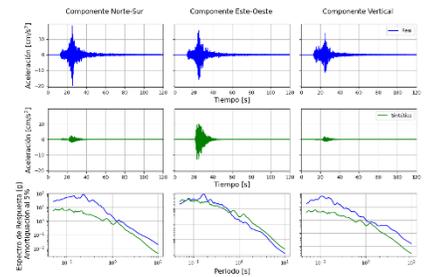


Figura 0-298. Estación CO06.

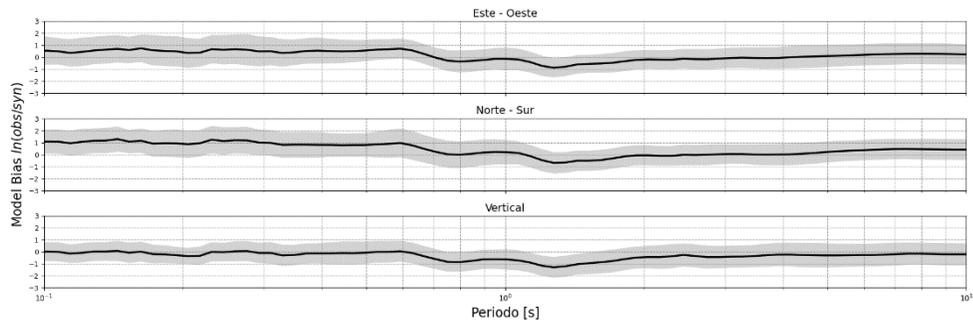
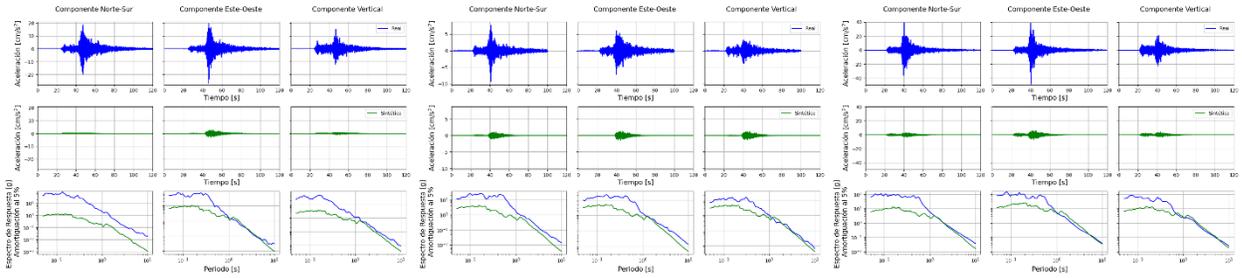
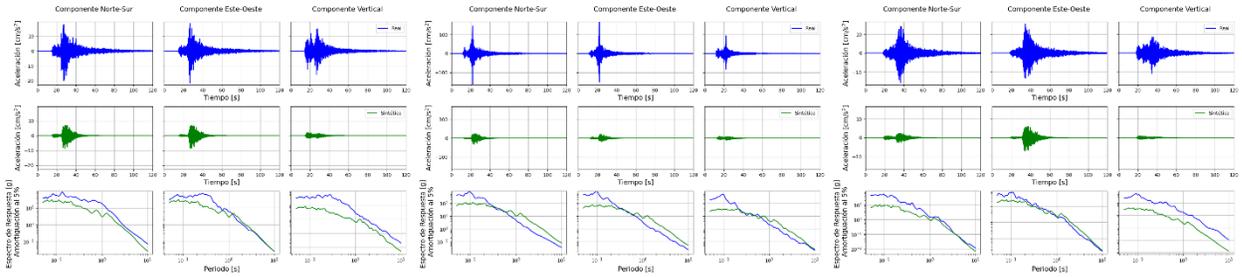
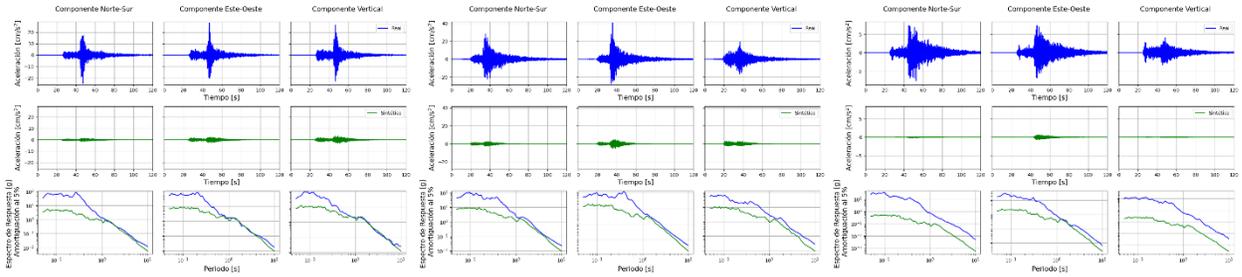
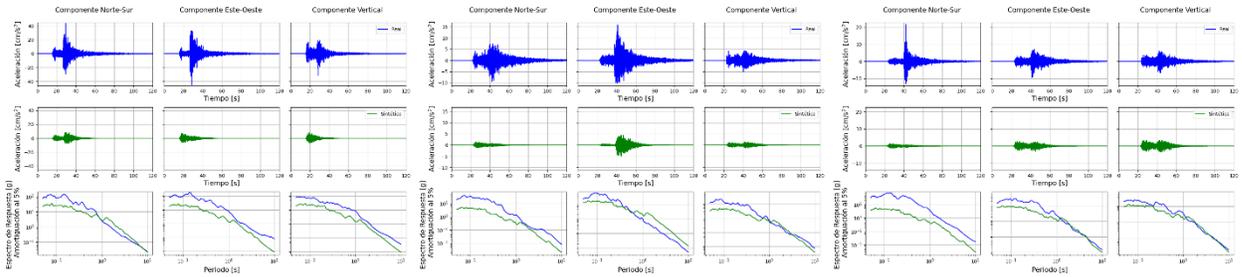
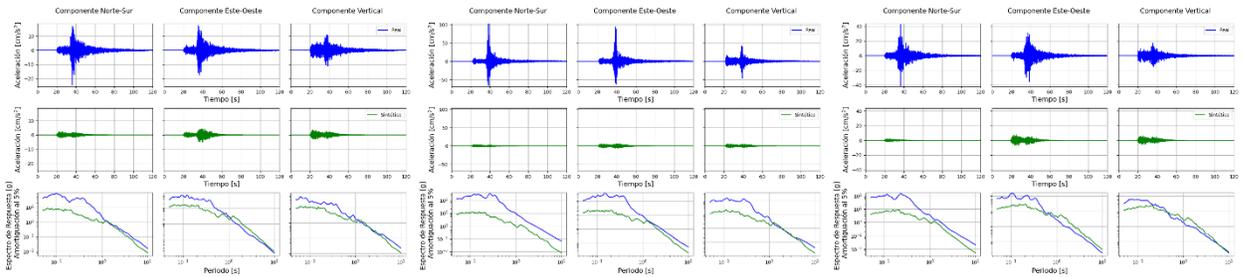


Figura 0-299. GOF del evento.

Evento N.º23



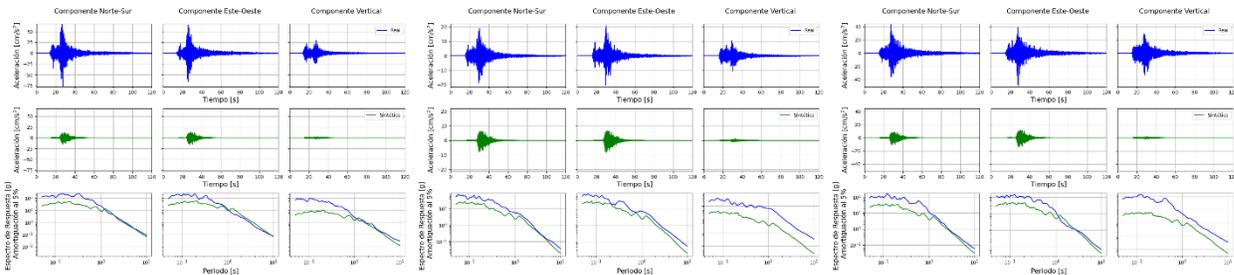


Figura 0-315. Estación C160.

Figura 0-316. Estación C190.

Figura 0-317. Estación C200.

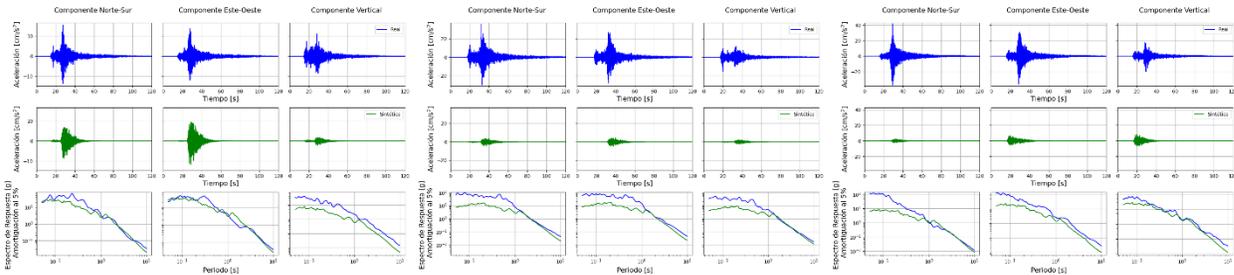


Figura 0-318. Estación C220.

Figura 0-319. Estación C260.

Figura 0-320. Estación C270.

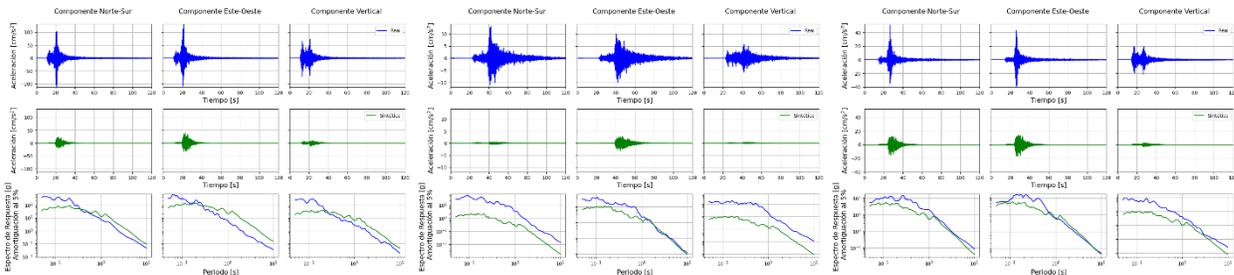


Figura 0-321. Estación C280.

Figura 0-322. Estación C290.

Figura 0-323. Estación C330.

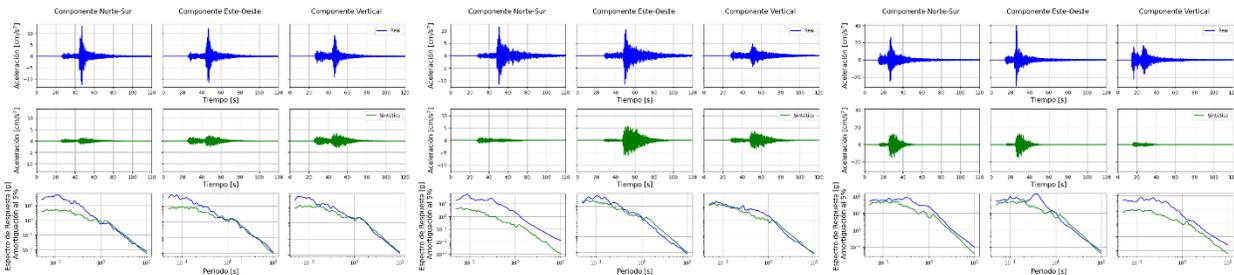


Figura 0-324. Estación CO01.

Figura 0-325. Estación CO03.

Figura 0-326. Estación CO05.

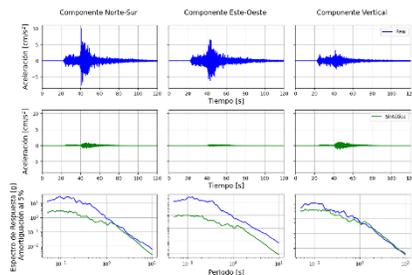


Figura 0-327. Estación CO06.

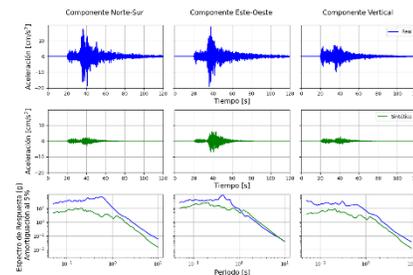


Figura 0-328. Estación GO04.

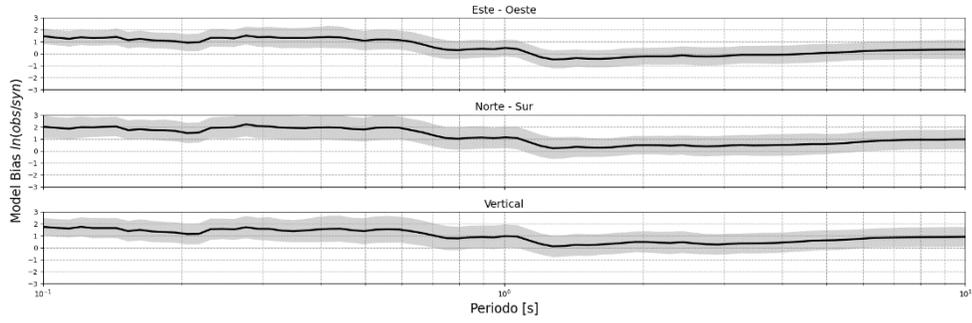


Figura 0-329. GOF del evento.

Evento N.º24

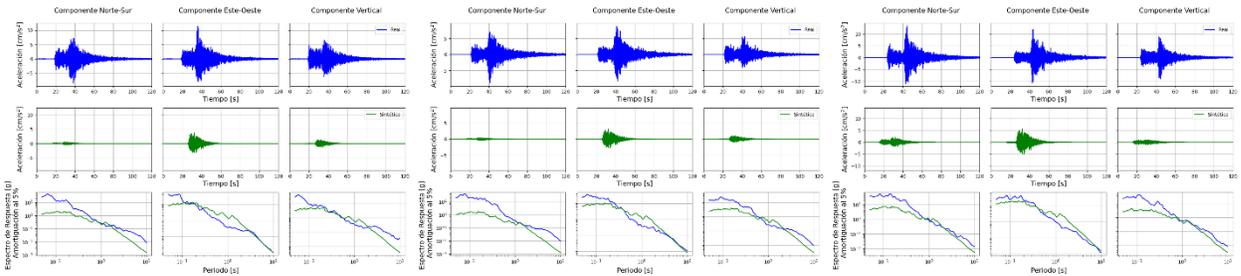


Figura 0-330. Estación A01C.

Figura 0-331. Estación A03C.

Figura 0-332. Estación A04C.

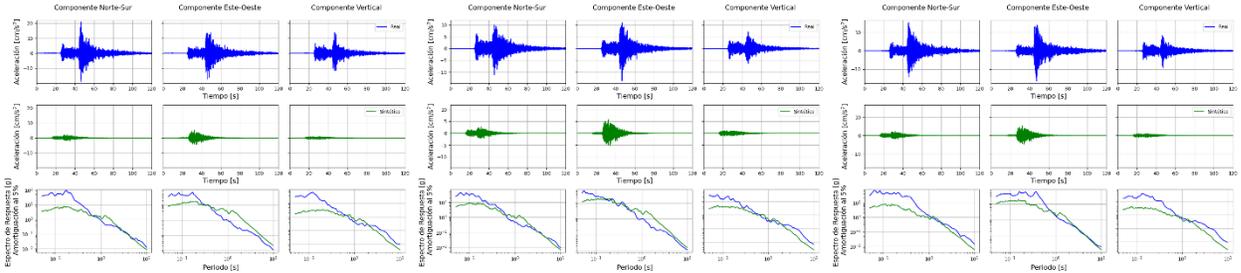


Figura 0-333. Estación A05C.

Figura 0-334. Estación A06C.

Figura 0-335. Estación A07C.

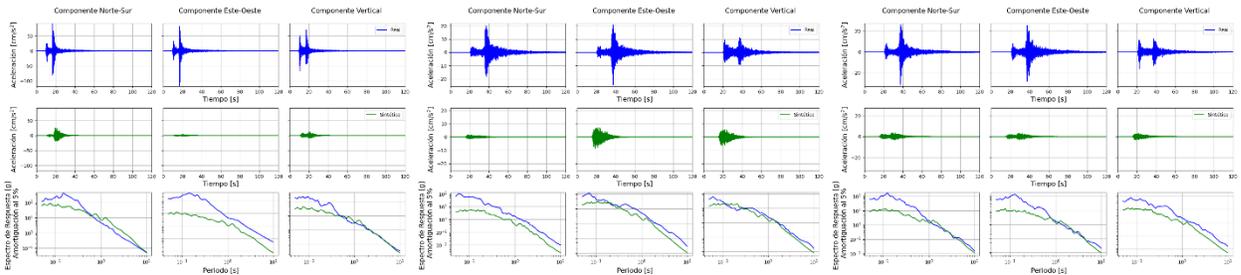


Figura 0-336. Estación A14C.

Figura 0-337. Estación A16C.

Figura 0-338. Estación A17C.

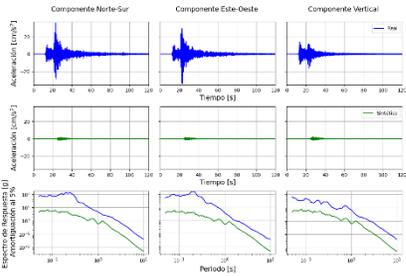


Figura 0-339. Estación A21F.

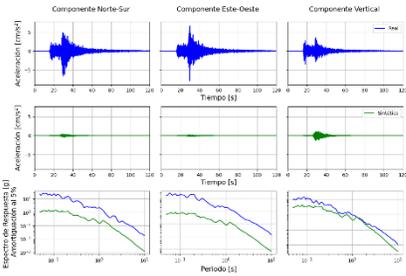


Figura 0-340. Estación A26F.

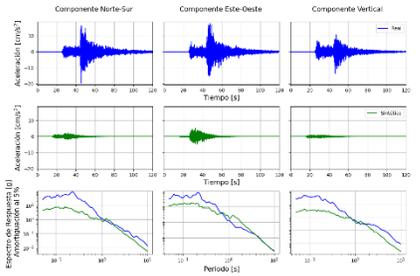


Figura 0-341. Estación A27C.

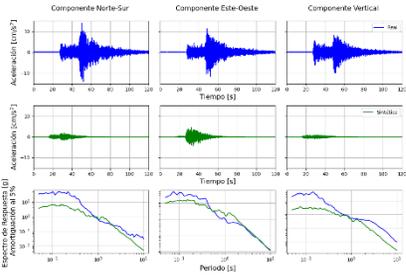


Figura 0-342. Estación A28C.

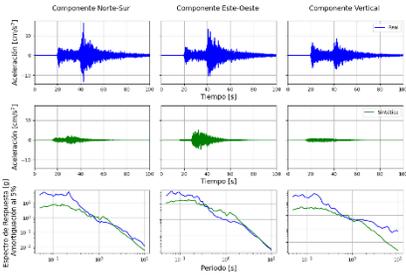


Figura 0-343. Estación A29C.

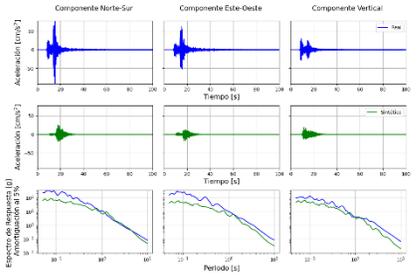


Figura 0-344. Estación AC01.

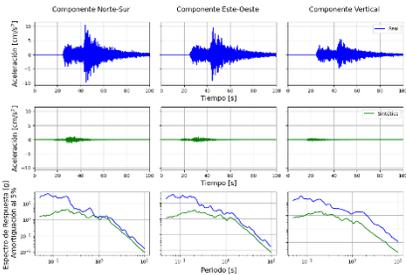


Figura 0-345. Estación GO02.

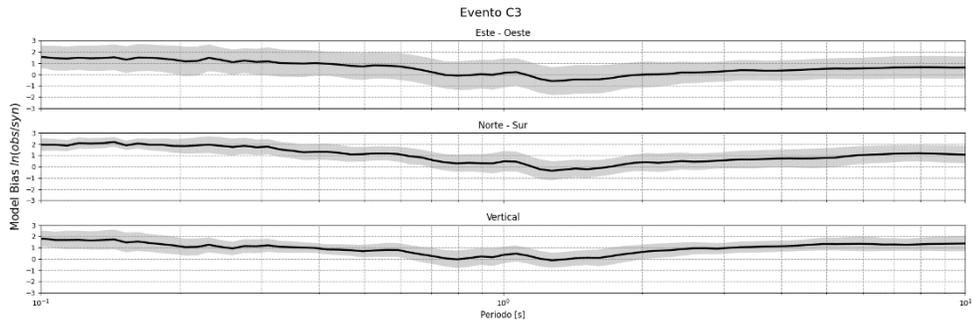


Figura 0-346. GOF del evento.

Evento N.º25

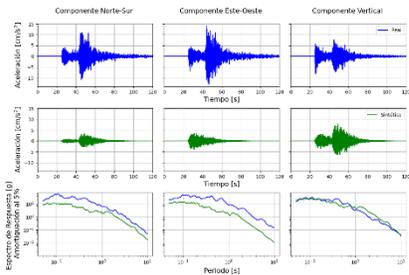


Figura 0-347. Estación A01P.

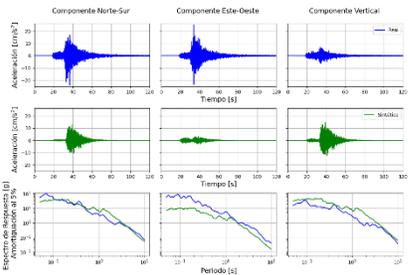


Figura 0-348. Estación A04P.

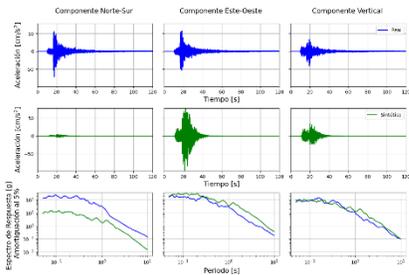


Figura 0-349. Estación A05P.

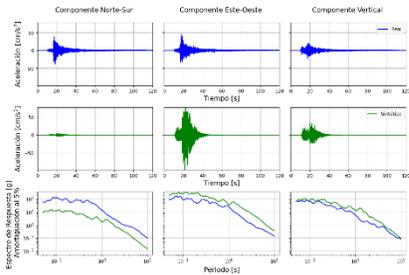


Figura 0-350. Estación A06P.

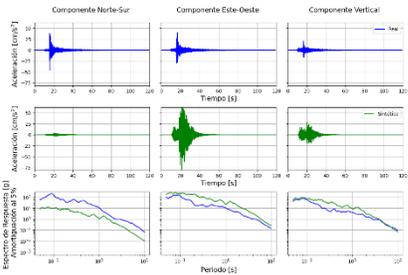


Figura 0-351. Estación A08P.

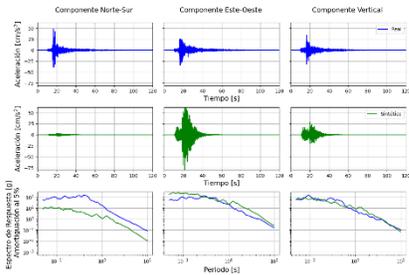


Figura 0-352. Estación A09P.

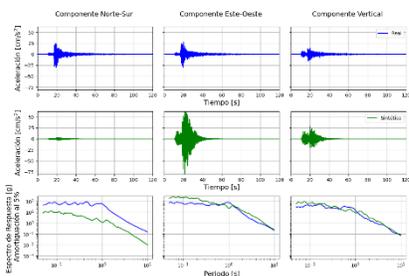


Figura 0-353. Estación A11P.

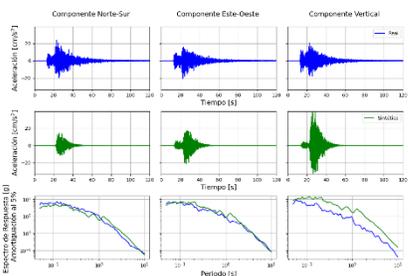


Figura 0-354. Estación A12P.

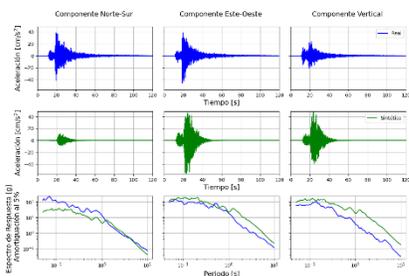


Figura 0-355. Estación A13P.

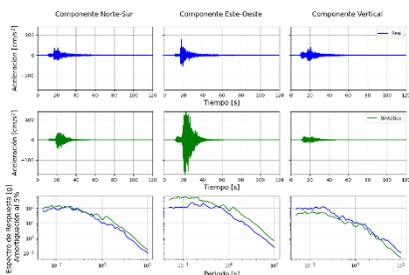


Figura 0-356. Estación A14P.

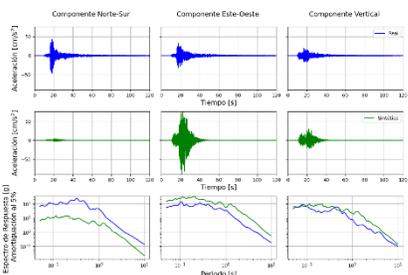


Figura 0-357. Estación A15P.

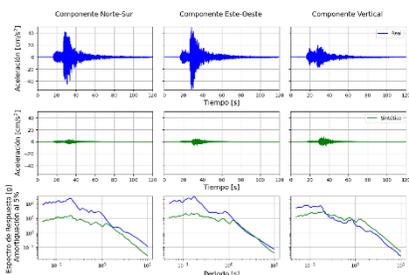


Figura 0-358. Estación A16P.

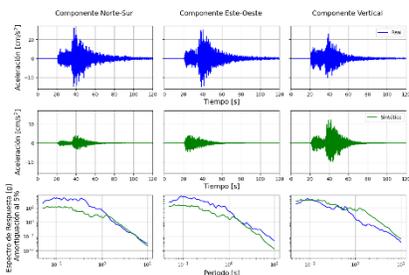


Figura 0-359. Estación A18P.

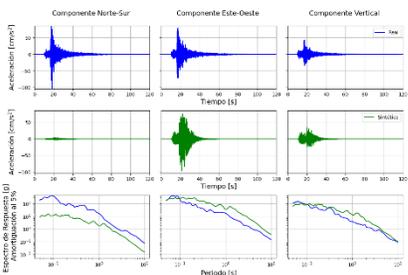


Figura 0-360. Estación A19P.

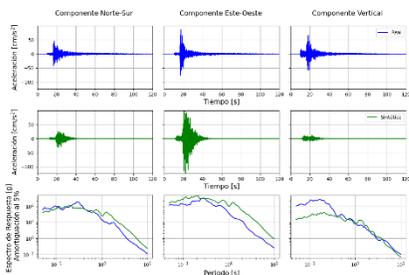


Figura 0-361. Estación AP01.

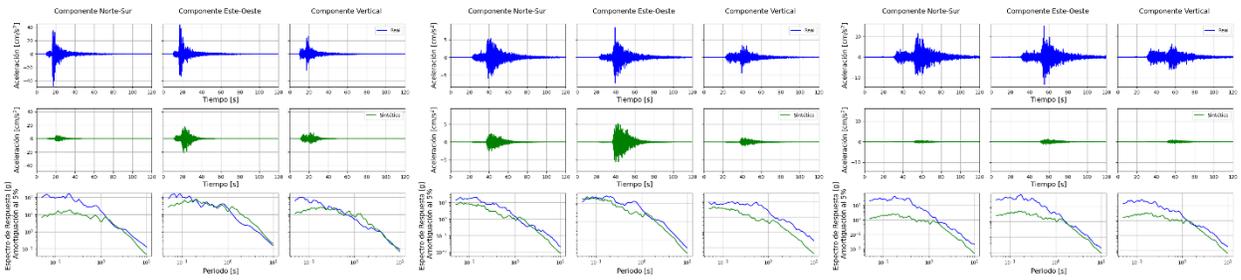


Figura 0-362. Estación PB12. Figura 0-363. Estación T09A. Figura 0-364. Estación T10A.

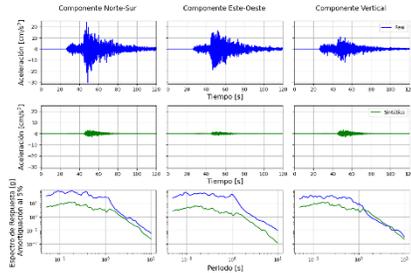


Figura 0-365. Estación T11A.

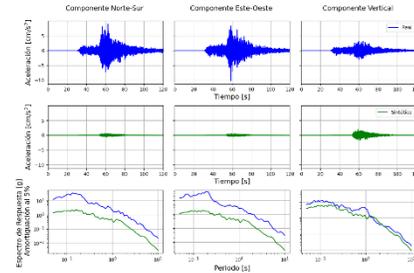


Figura 0-366. Estación T20A.

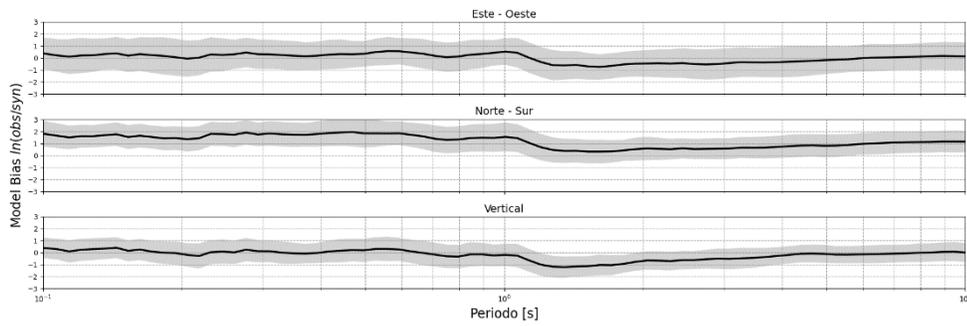


Figura 0-367. GOF del evento.

Evento N.º26

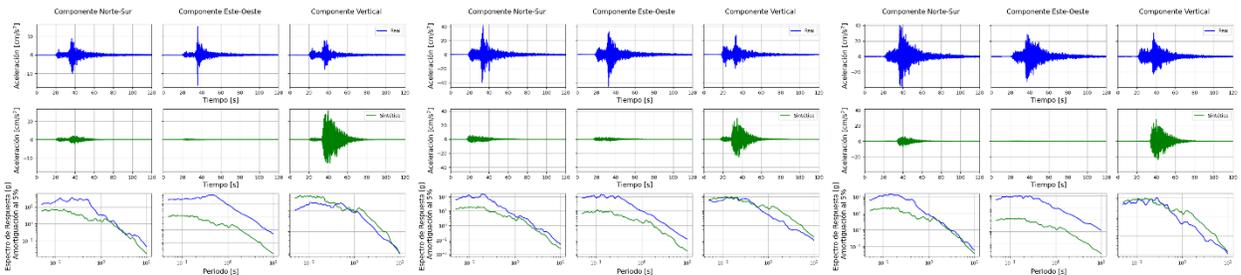


Figura 0-368. Estación A02C. Figura 0-369. Estación A03C. Figura 0-370. Estación A04C.

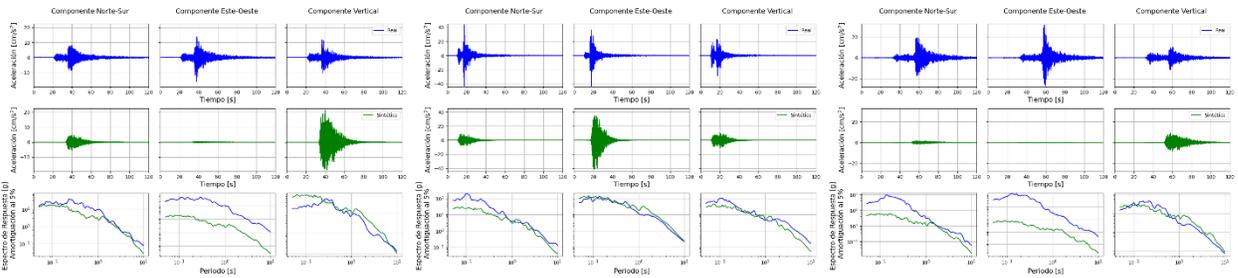


Figura 0-371. Estación A08C.

Figura 0-372. Estación A13C.

Figura 0-373. Estación A17C.

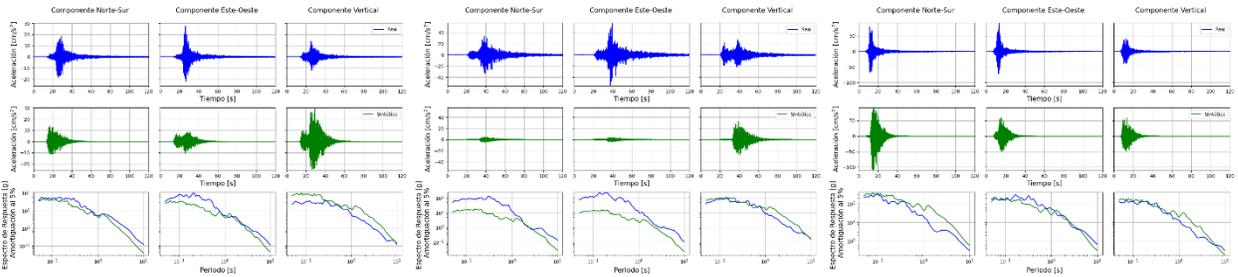


Figura 0-374. Estación A18C.

Figura 0-375. Estación A19C.

Figura 0-376. Estación A21C.

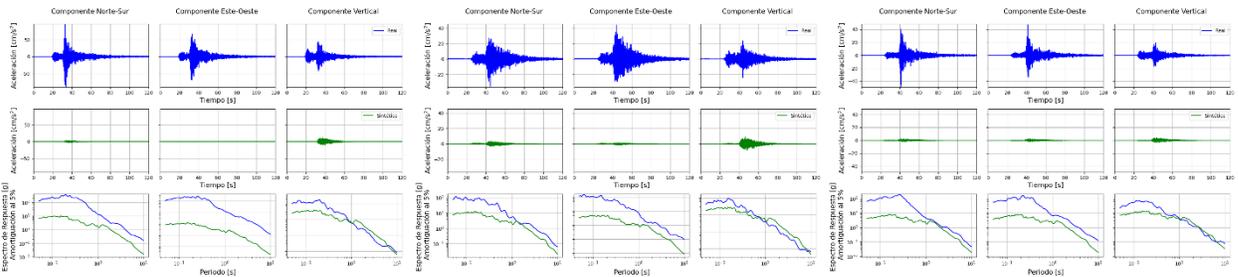


Figura 0-377. Estación A22C.

Figura 0-378. Estación A23C.

Figura 0-379. Estación A24C.

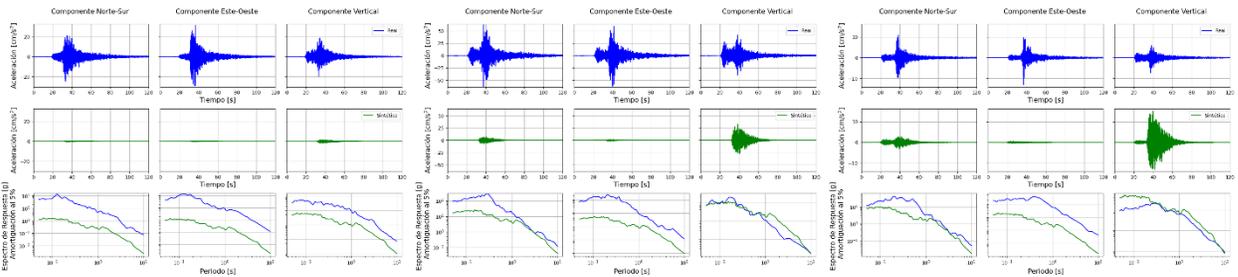


Figura 0-380. Estación A25C.

Figura 0-381. Estación A28C.

Figura 0-382. Estación A30C.

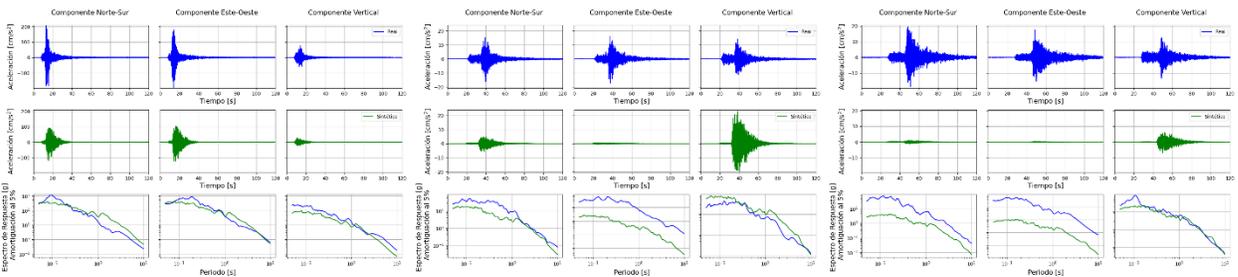


Figura 0-383. Estación AC04.

Figura 0-384. Estación AC06.

Figura 0-385. Estación C090.

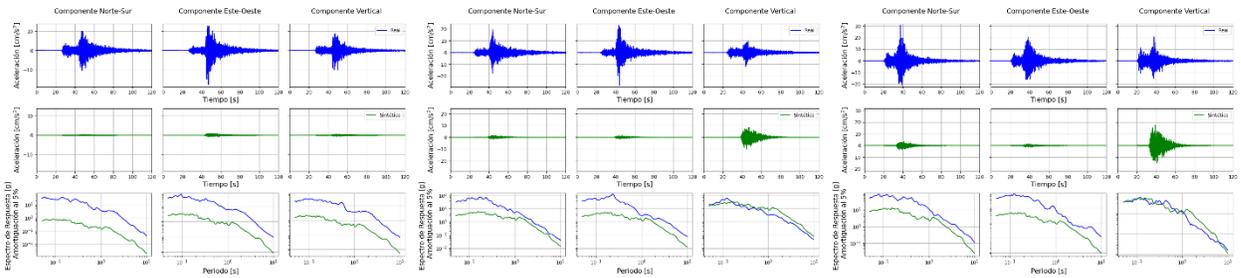


Figura 0-386. Estación C270. Figura 0-387. Estación C280. Figura 0-388. Estación GO03.

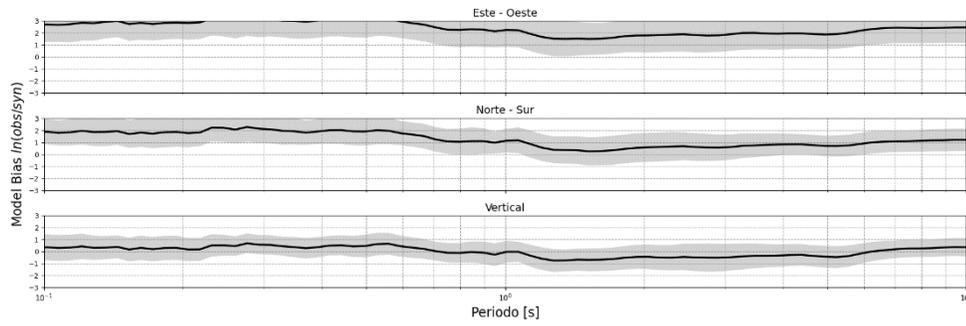


Figura 0-389. GOF del evento.

Evento N.º27

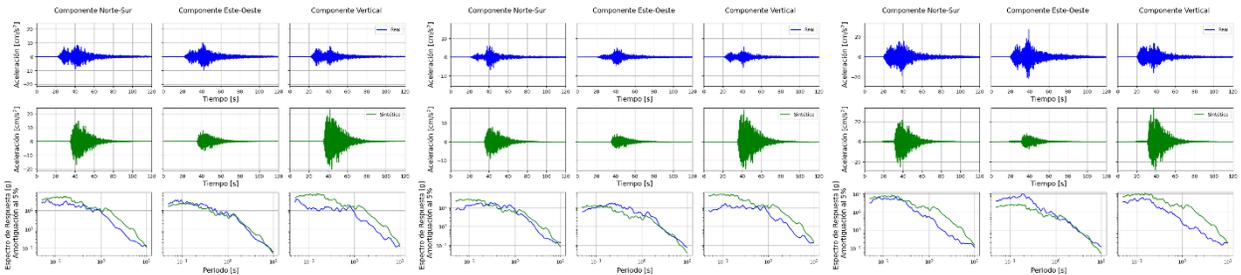


Figura 0-390. Estación A01C. Figura 0-391. Estación A02C. Figura 0-392. Estación A03C.

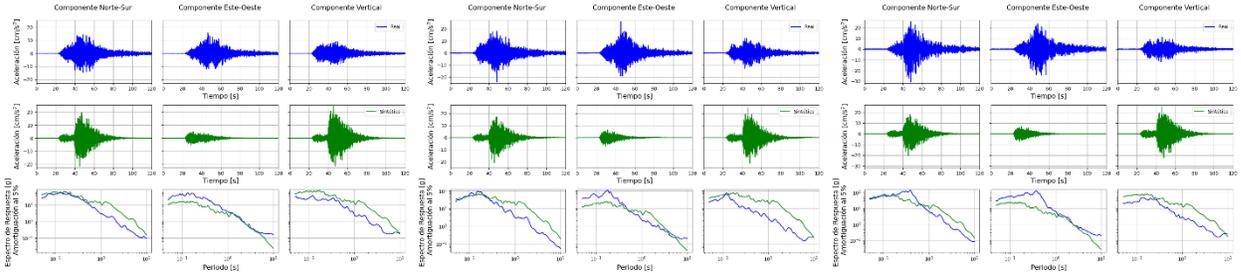


Figura 0-393. Estación A04C. Figura 0-394. Estación A05C. Figura 0-395. Estación A07C.

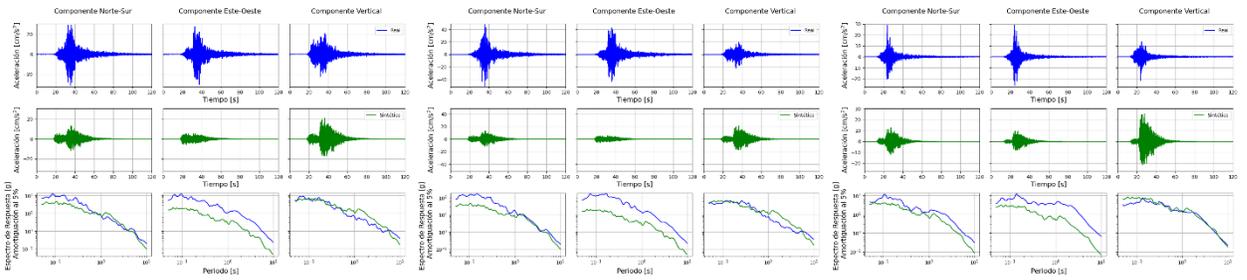


Figura 0-396. Estación A09C.

Figura 0-397. Estación A10C.

Figura 0-398. Estación A13C.

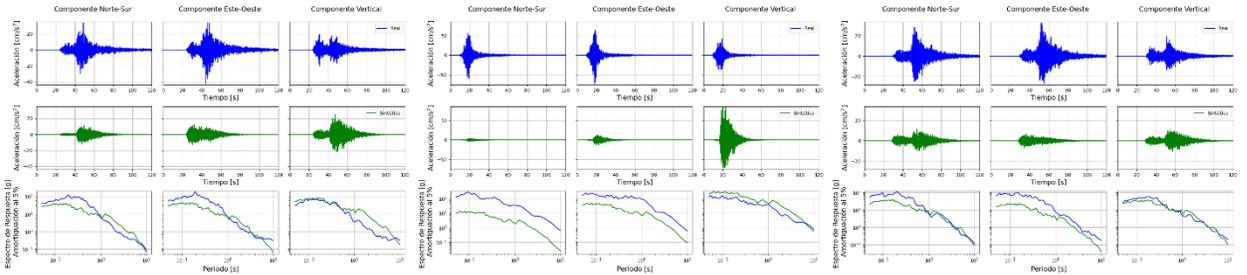


Figura 0-399. Estación A19C.

Figura 0-400. Estación A21C.

Figura 0-401. Estación A23C.

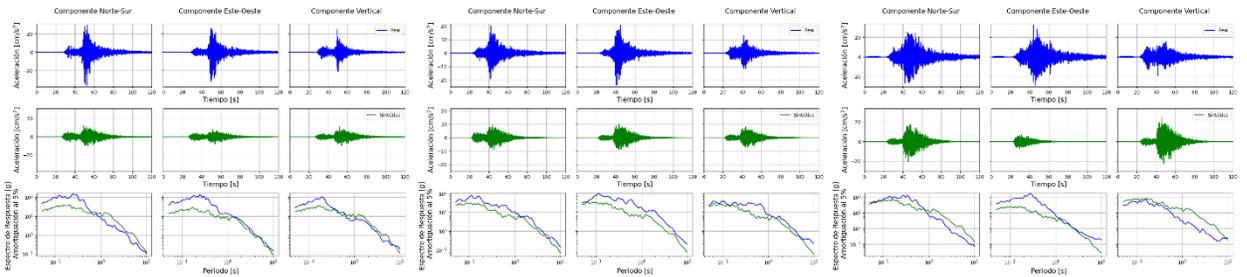


Figura 0-402. Estación A24C.

Figura 0-403. Estación A25C.

Figura 0-404. Estación A27C.

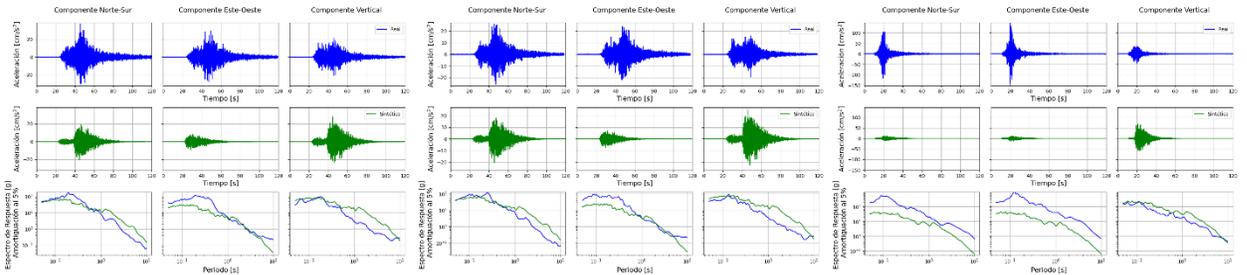


Figura 0-405. Estación A28C.

Figura 0-406. Estación A29C.

Figura 0-407. Estación AC04.

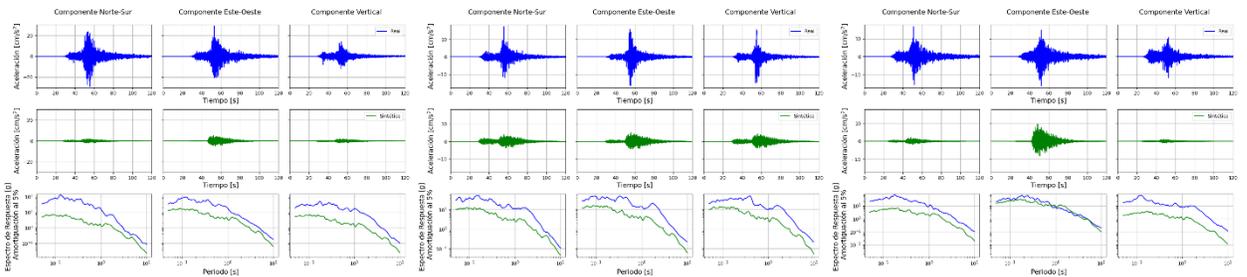


Figura 0-408. Estación C150.

Figura 0-409. Estación C270.

Figura 0-410. Estación C280.

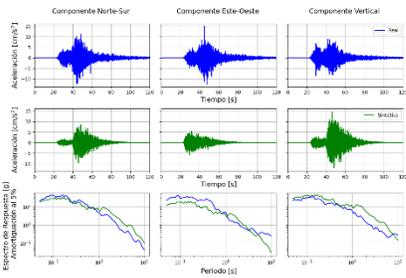


Figura 0-411. Estación GO03.

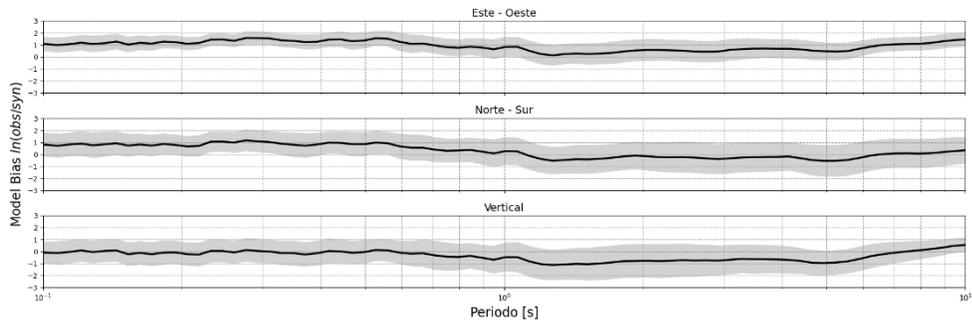


Figura 0-412. GOF del evento.

Evento N.º29

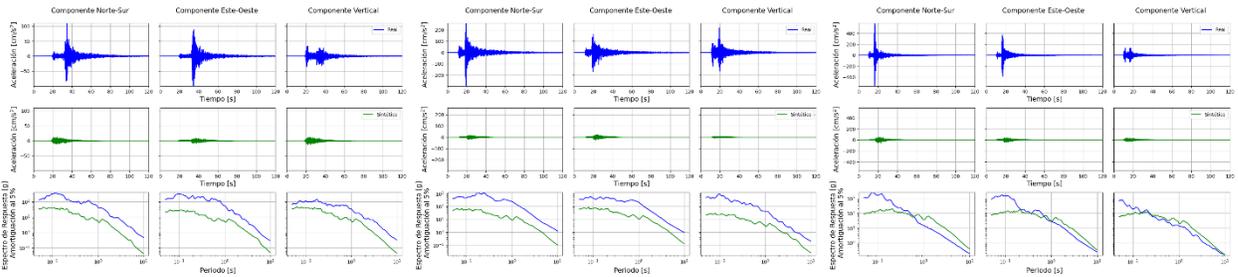


Figura 0-413. Estación A06F.

Figura 0-414. Estación A07F.

Figura 0-415. Estación A11F.

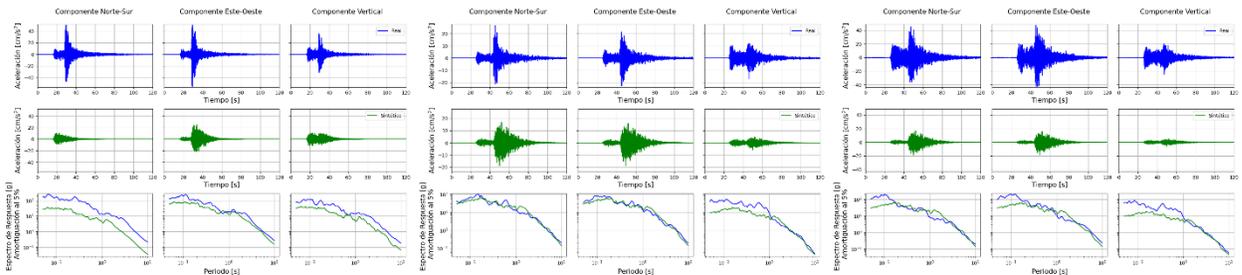


Figura 0-416. Estación A16F.

Figura 0-417. Estación A18F.

Figura 0-418. Estación A20F.

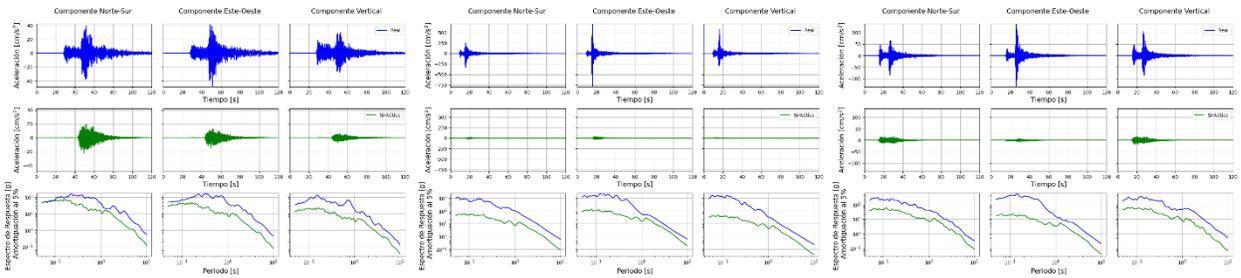


Figura 0-419. Estación A23F.

Figura 0-420. Estación PB02.

Figura 0-421. Estación PB03.

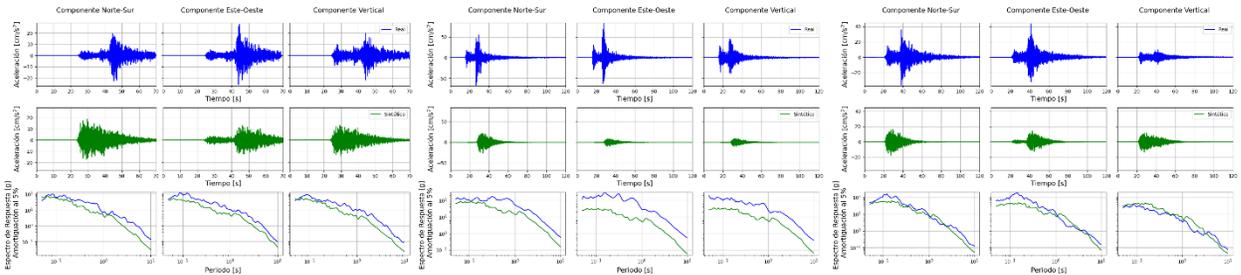


Figura 0-422. Estación PB06.

Figura 0-423. Estación PB09.

Figura 0-424. Estación T03A.

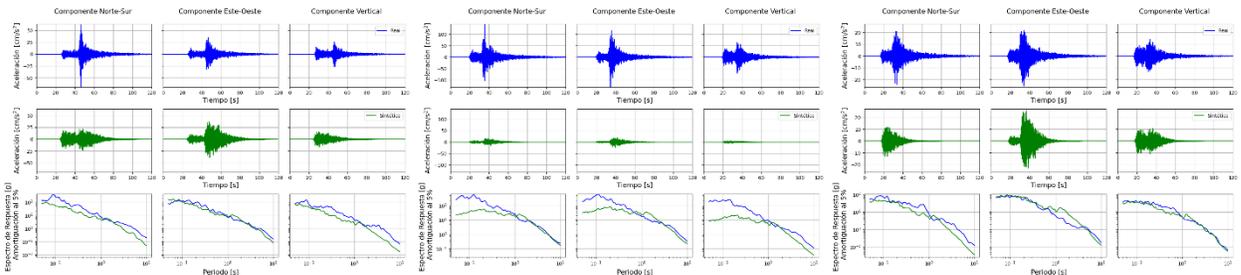


Figura 0-425. Estación T12A.

Figura 0-426. Estación T13A.

Figura 0-427. Estación T16A.

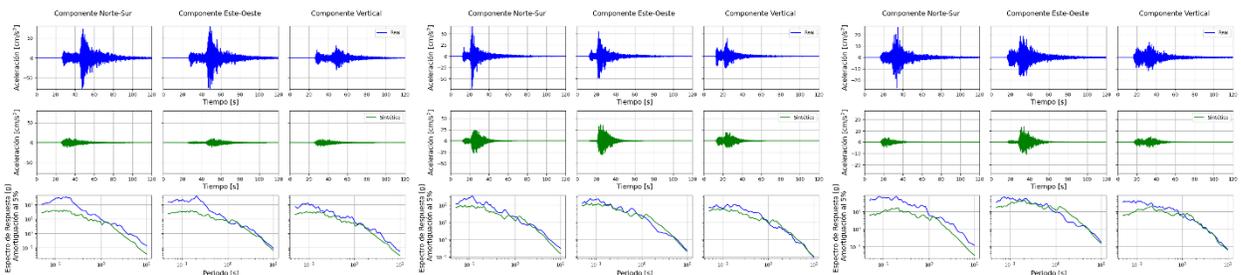


Figura 0-428. Estación T20A.

Figura 0-429. Estación T23A.

Figura 0-430. Estación TA01.

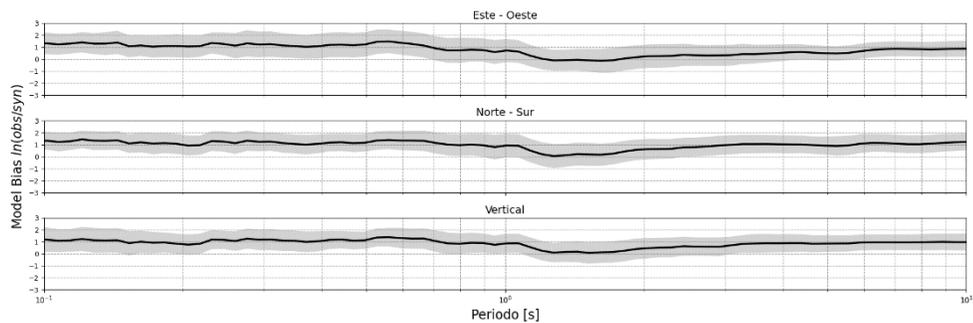


Figura 0-431. GOF del evento.

Evento N.º30

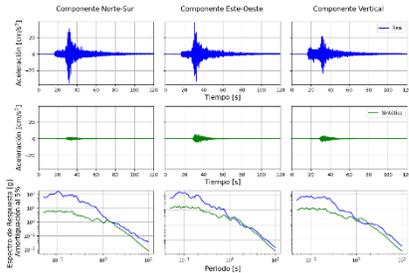


Figura 0-432. Estación A09C.

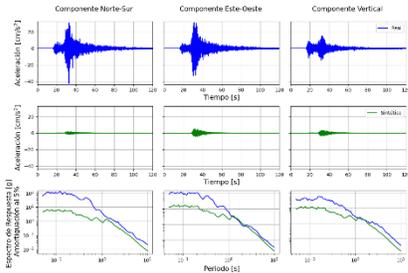


Figura 0-433. Estación A10C.

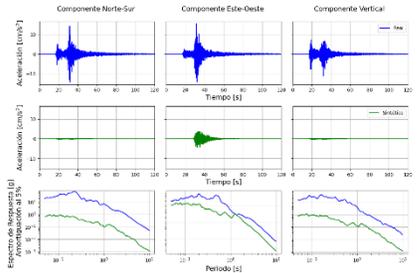


Figura 0-434. Estación A13C.

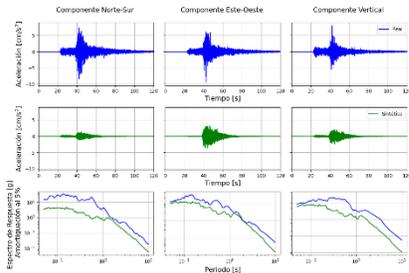


Figura 0-435. Estación A21C.

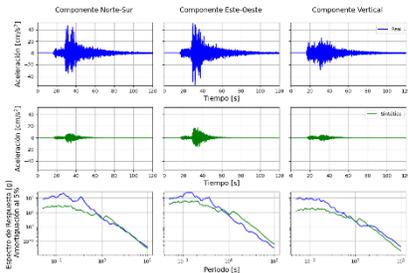


Figura 0-436. Estación A22C.

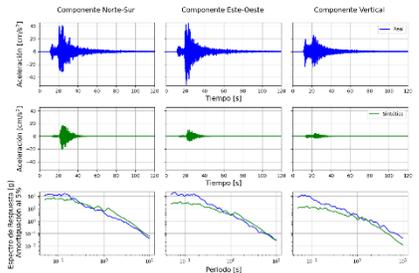


Figura 0-437. Estación A25C.

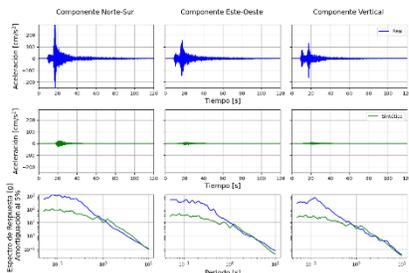


Figura 0-438. Estación A26C.

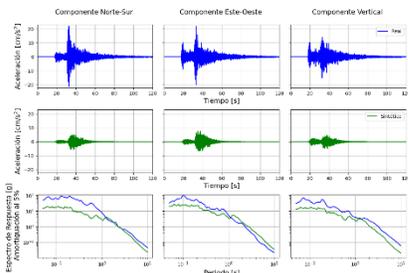


Figura 0-439. Estación AC05.

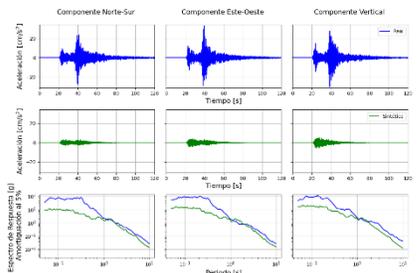


Figura 0-440. Estación C020.

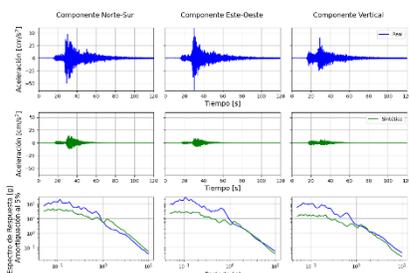


Figura 0-441. Estación C030.

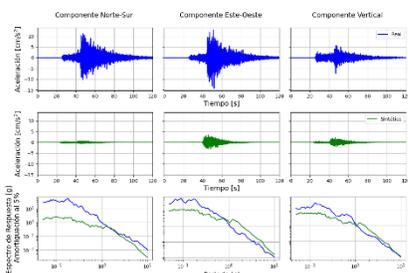


Figura 0-442. Estación C050.

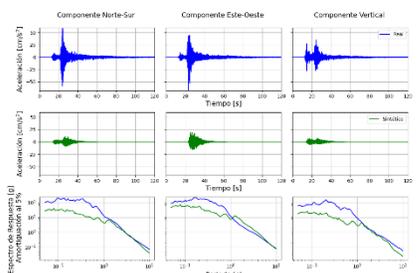


Figura 0-443. Estación C060.

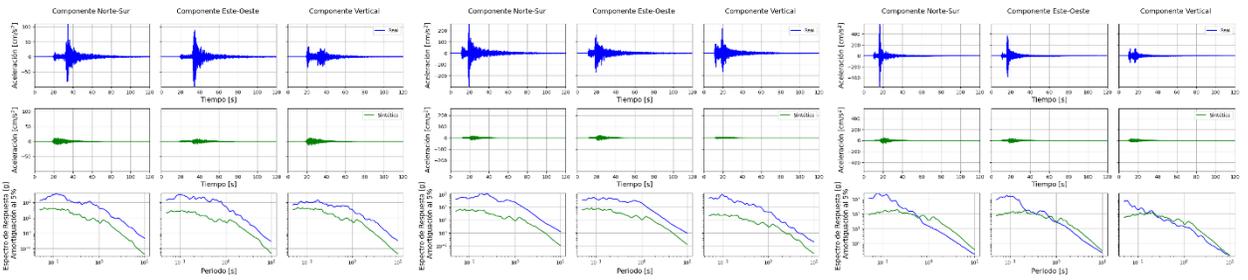


Figura 0-444. Estación C090.

Figura 0-445. Estación C100.

Figura 0-446. Estación C110.

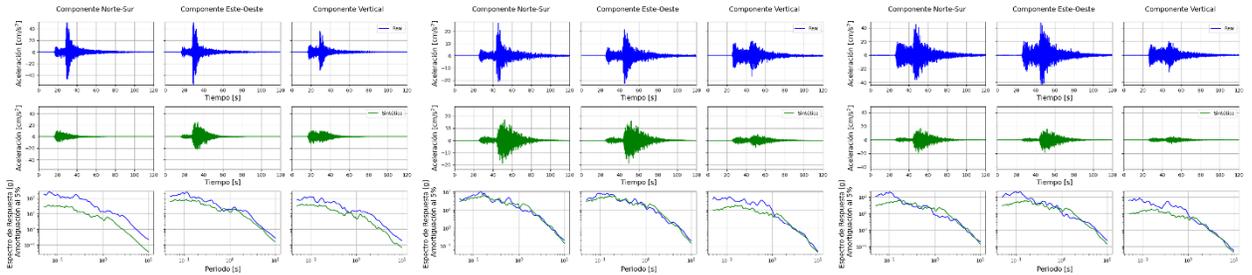


Figura 0-447. Estación C130.

Figura 0-448. Estación C140.

Figura 0-449. Estación C150.

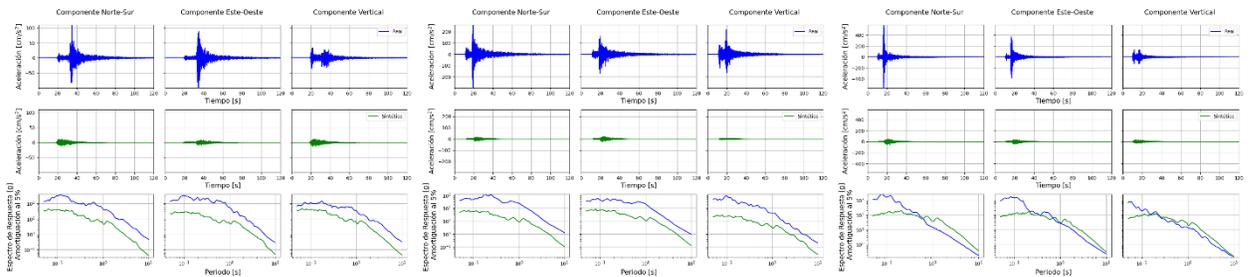


Figura 0-450. Estación C160.

Figura 0-451. Estación C180.

Figura 0-452. Estación C190.

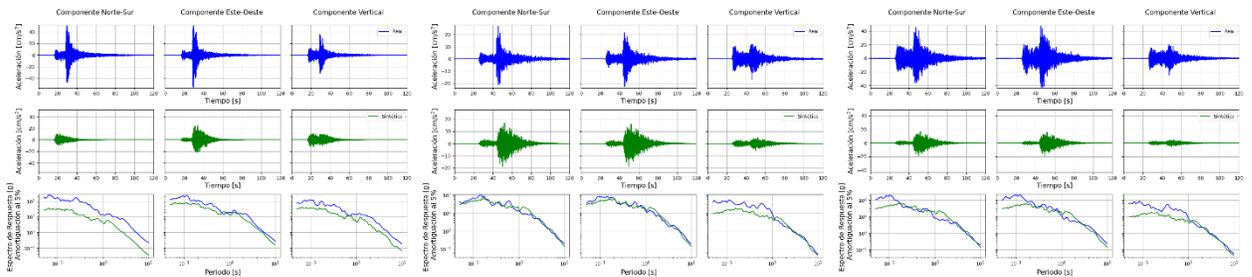


Figura 0-453. Estación C200.

Figura 0-454. Estación C220.

Figura 0-455. Estación C240.

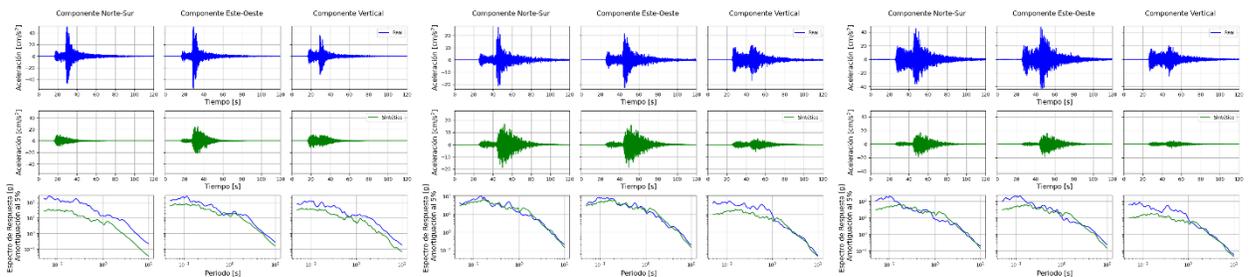


Figura 0-456. Estación C260.

Figura 0-457. Estación C270.

Figura 0-458. Estación C280.

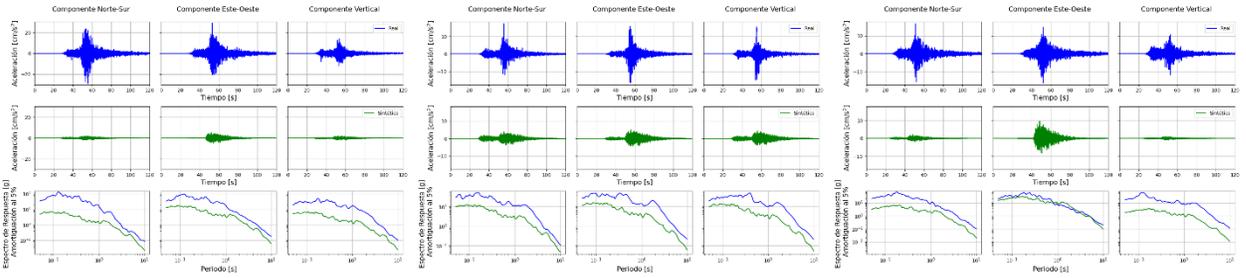


Figura 0-459. Estación C330. Figura 0-460. Estación CO01. Figura 0-461. Estación CO05.

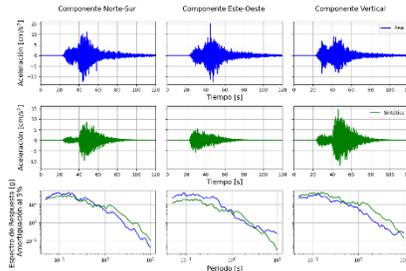


Figura 0-462. Estación GO04.

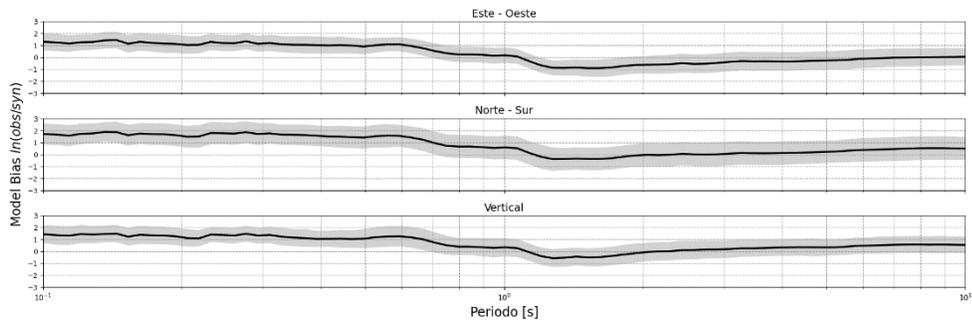


Figura 0-463. GOF del evento.

Evento N.º31

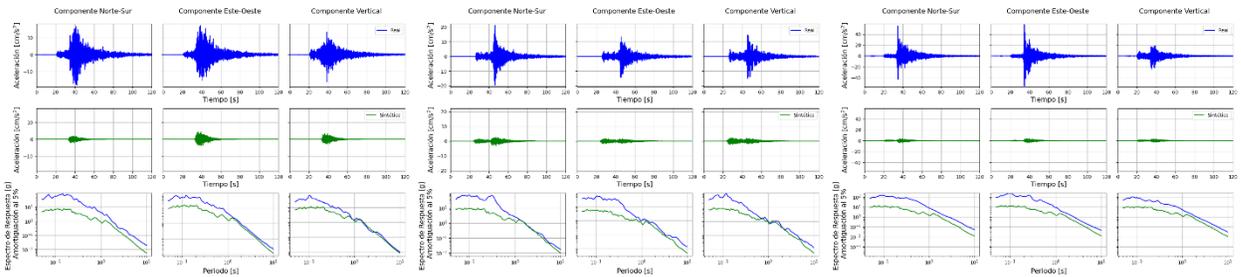


Figura 0-464. Estación C010. Figura 0-465. Estación C020. Figura 0-466. Estación C030.

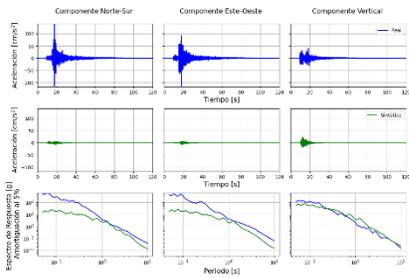


Figura 0-467. Estación C050.

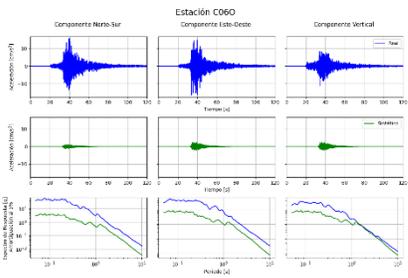


Figura 0-468. Estación C060.

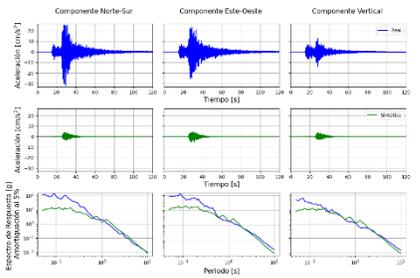


Figura 0-469. Estación C070.

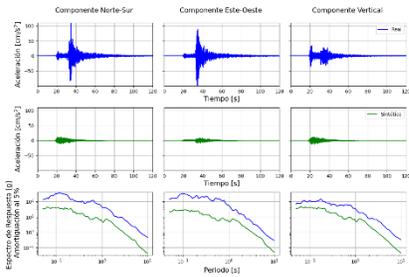


Figura 0-470. Estación C080.

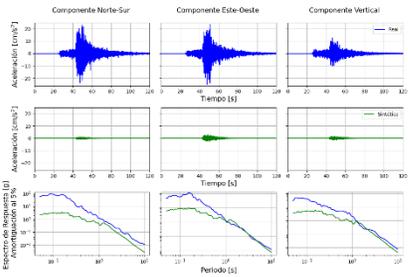


Figura 0-471. Estación C090.

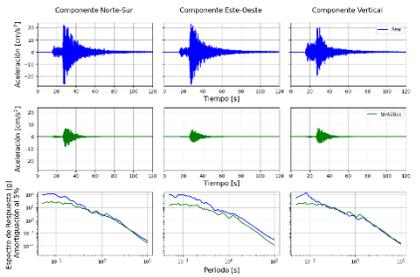


Figura 0-472. Estación C100.

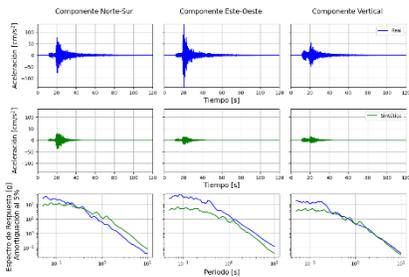


Figura 0-473. Estación C110.

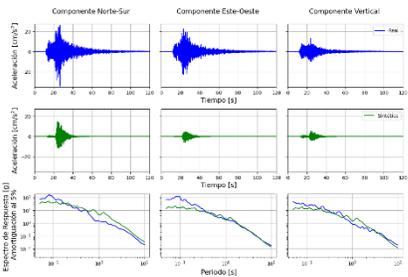


Figura 0-474. Estación C120.

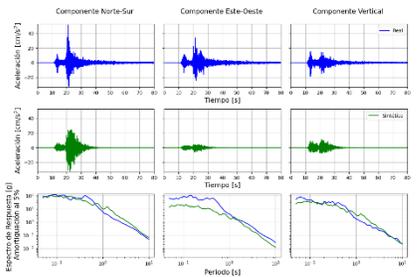


Figura 0-475. Estación C130.

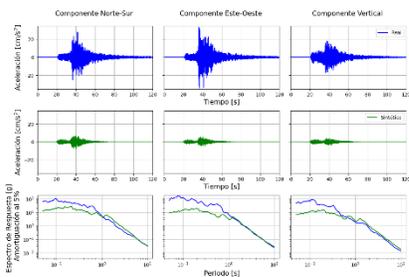


Figura 0-476. Estación C140.

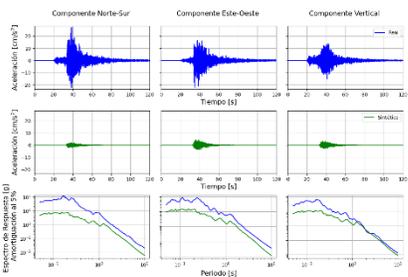


Figura 0-477. Estación C170.

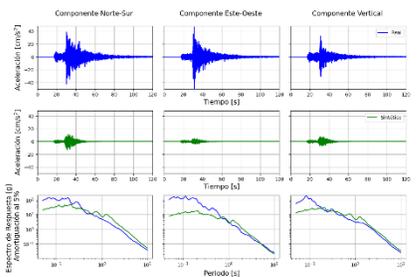


Figura 0-478. Estación C180.

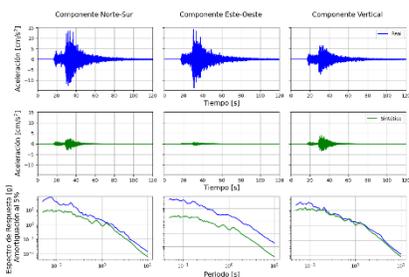


Figura 0-479. Estación C190.

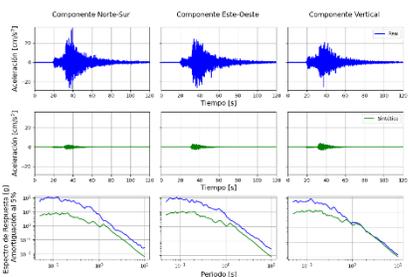


Figura 0-480. Estación C200.

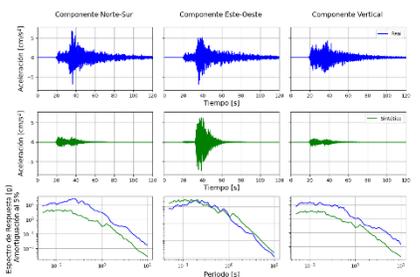


Figura 0-481. Estación C210.

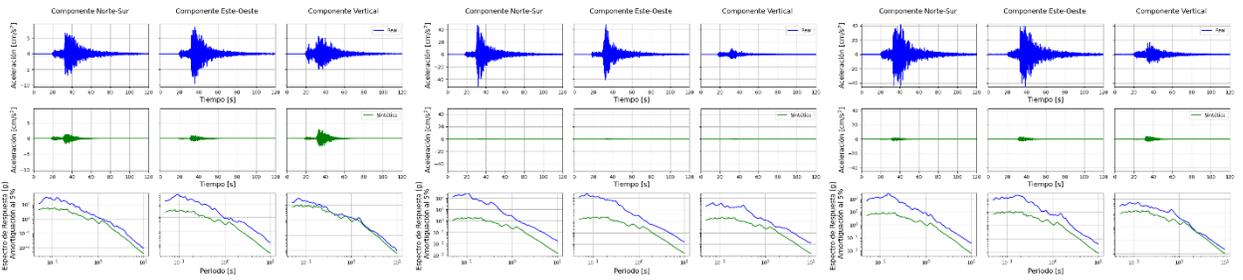


Figura 0-482. Estación C220.

Figura 0-483. Estación C230.

Figura 0-484. Estación C240.

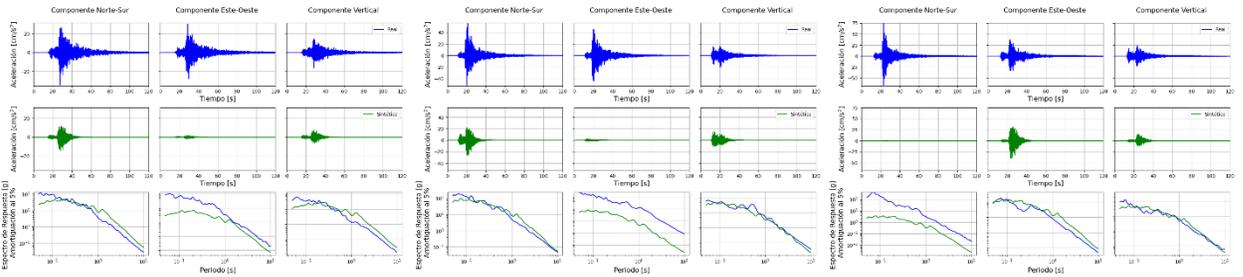


Figura 0-485. Estación C260.

Figura 0-486. Estación C290.

Figura 0-487. Estación C320.

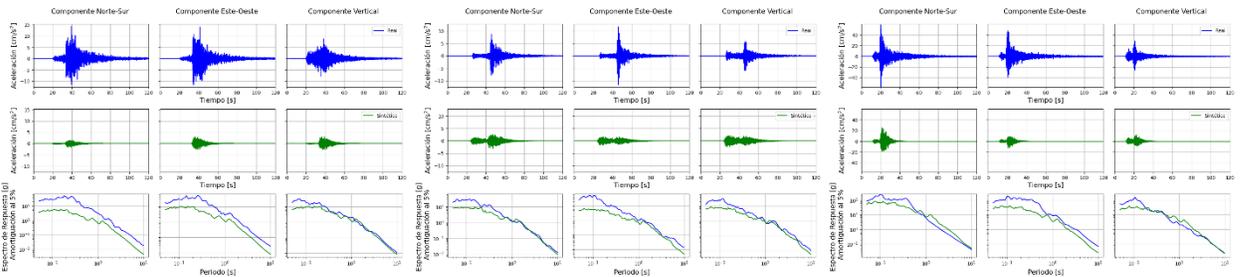


Figura 0-488. Estación C330.

Figura 0-489. Estación CO01.

Figura 0-490. Estación CO02.

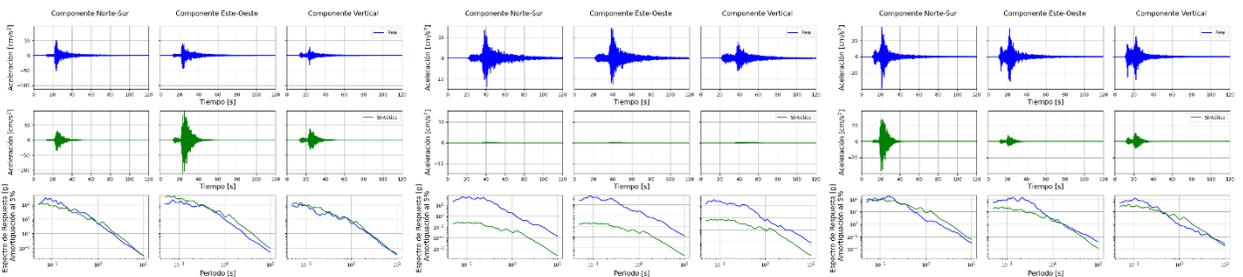


Figura 0-491. Estación CO03.

Figura 0-492. Estación CO04.

Figura 0-493. Estación CO06.

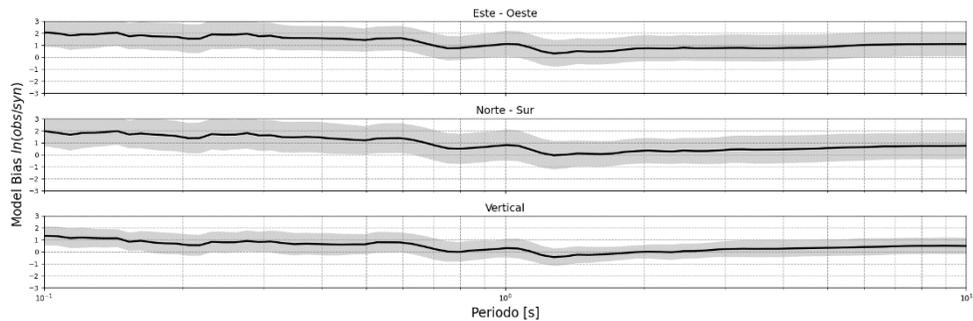


Figura 0-494. GOF del evento.

Evento N.º32

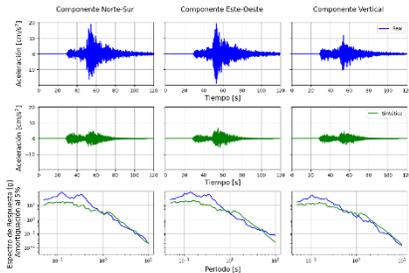


Figura 0-495. Estación A22C.

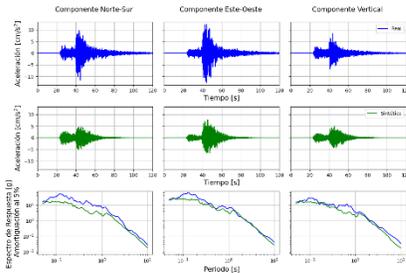


Figura 0-496. Estación A25C.

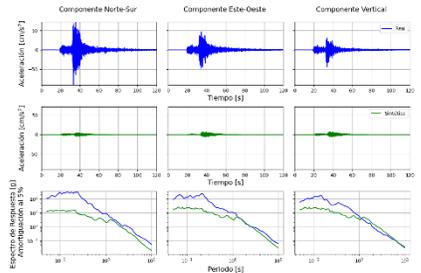


Figura 0-497. Estación A26C.

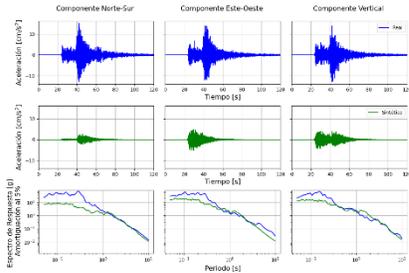


Figura 0-498. Estación C020.

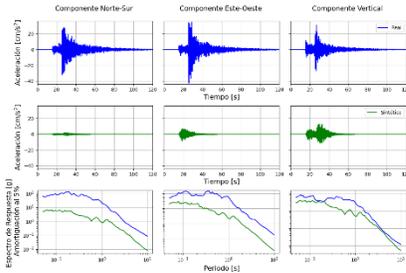


Figura 0-499. Estación C030.

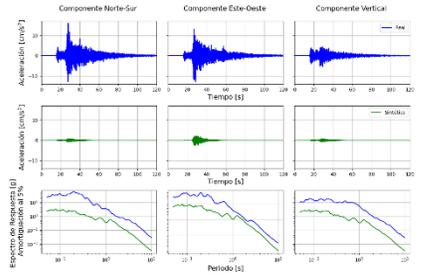


Figura 0-500. Estación C050.

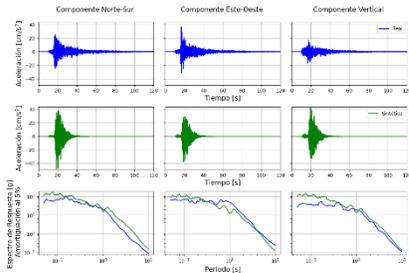


Figura 0-501. Estación C060.

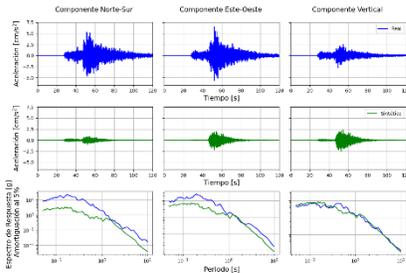


Figura 0-502. Estación C070.

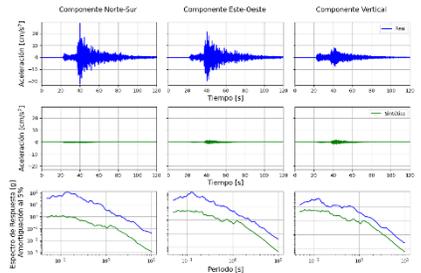


Figura 0-503. Estación C080.

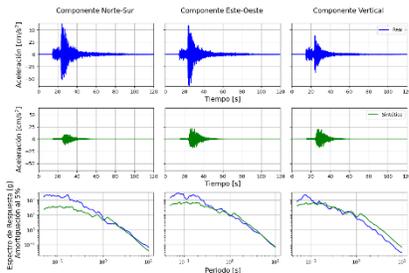


Figura 0-504. Estación C090.

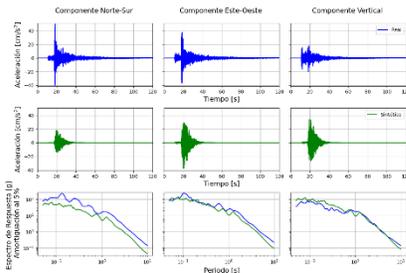


Figura 0-505. Estación C100.

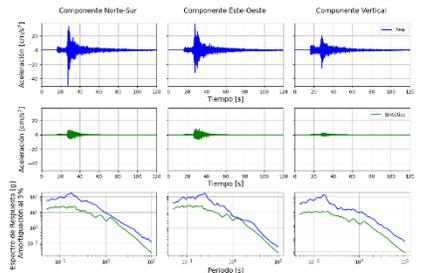


Figura 0-506. Estación C110.

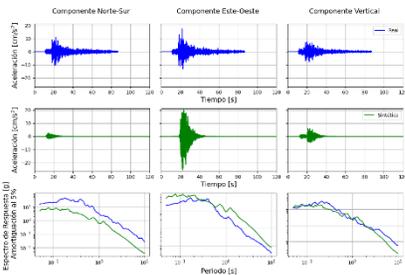


Figura 0-507. Estación C130.

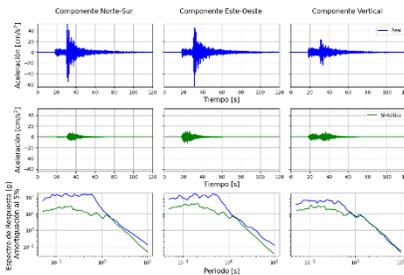


Figura 0-508. Estación C140.

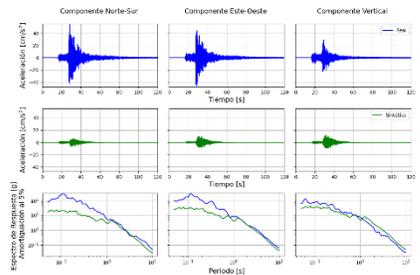


Figura 0-509. Estación C150.

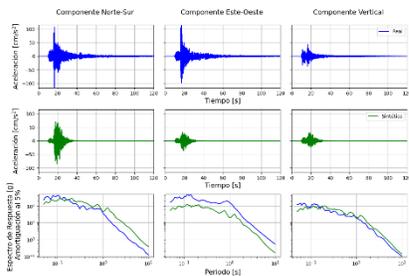


Figura 0-510. Estación C160.

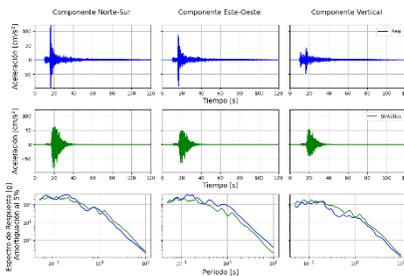


Figura 0-511. Estación C170.

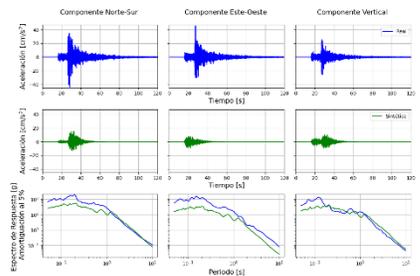


Figura 0-512. Estación C180.

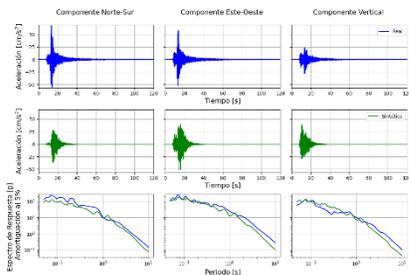


Figura 0-513. Estación C190.

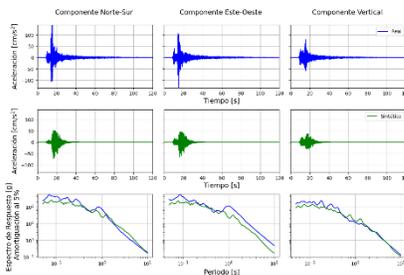


Figura 0-514. Estación C20C.

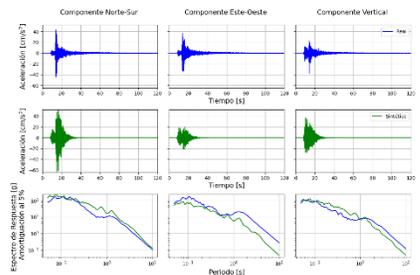


Figura 0-515. Estación C220.

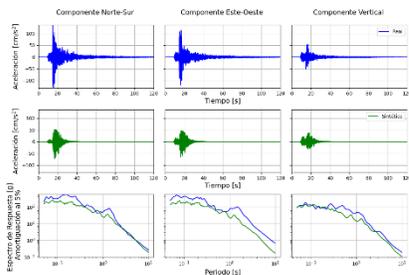


Figura 0-516. Estación C240.

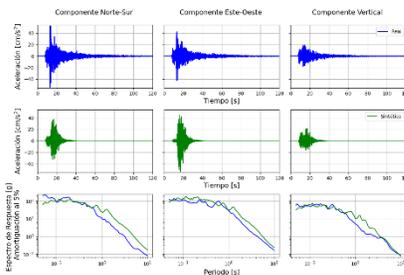


Figura 0-517. Estación C260.

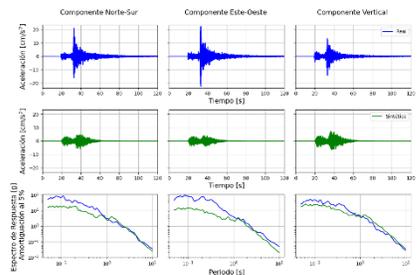


Figura 0-518. Estación C270.

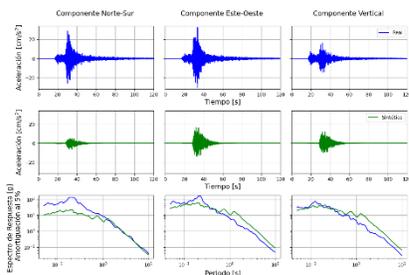


Figura 0-519. Estación C280.

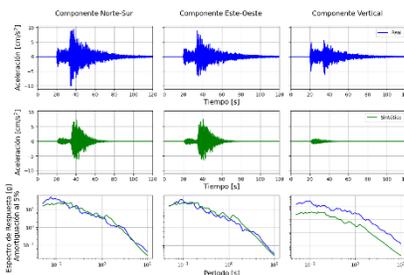


Figura 0-520. Estación C320.

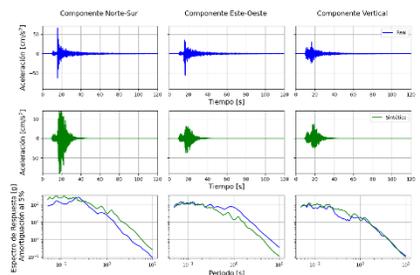


Figura 0-521. Estación C330.

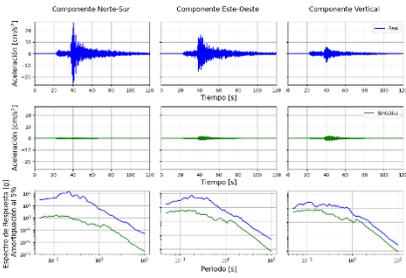


Figura 0-522. Estación CO02.

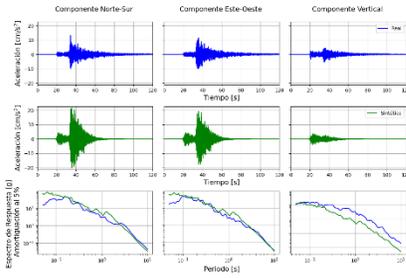


Figura 0-523. Estación CO03.

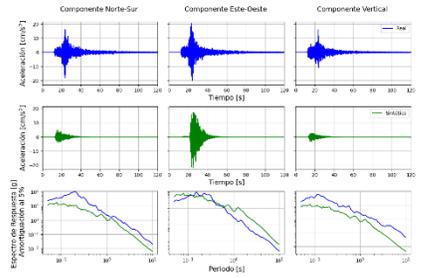


Figura 0-524. Estación CO06.

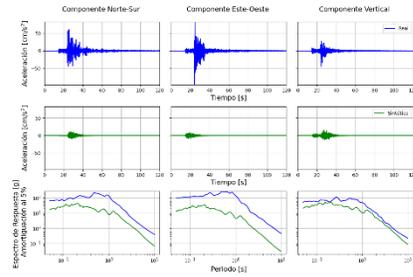


Figura 0-525. Estación GO04.

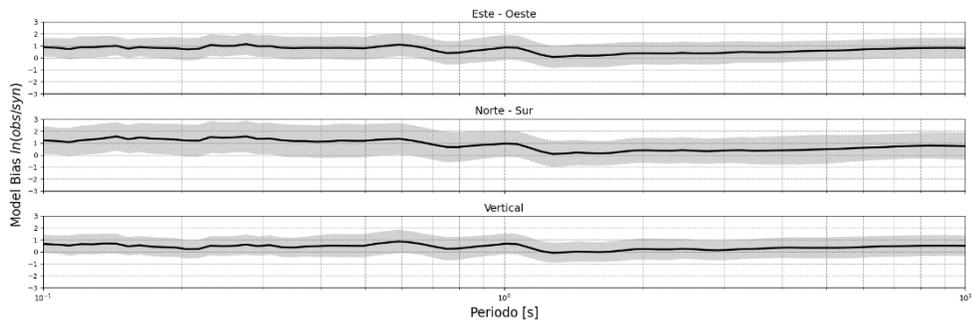


Figura 0-526. GOF del evento.

Evento N.º33

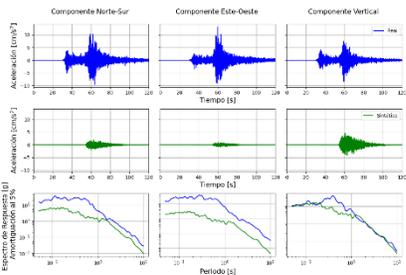


Figura 0-527. Estación A04C.

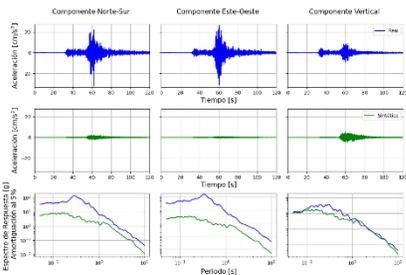


Figura 0-528. Estación A07C.

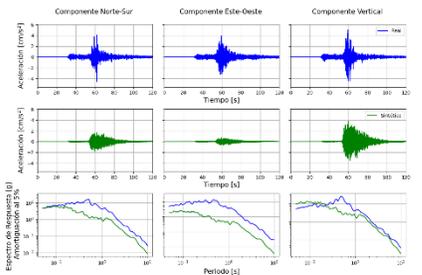


Figura 0-529. Estación A08C.

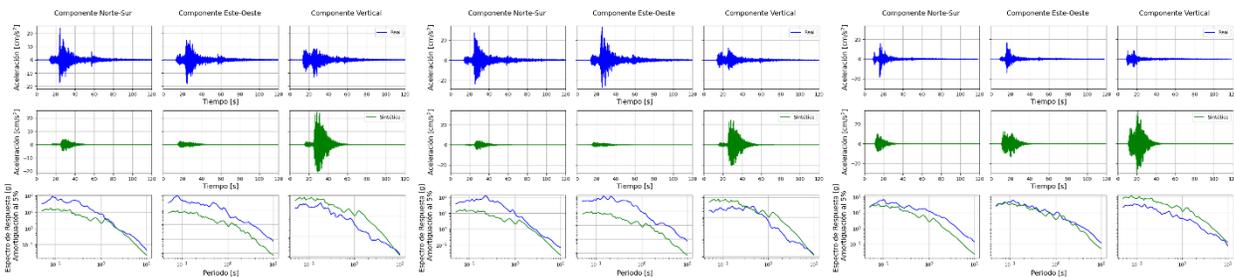


Figura 0-530. Estación A09C.

Figura 0-531. Estación A10C.

Figura 0-532. Estación A13C.

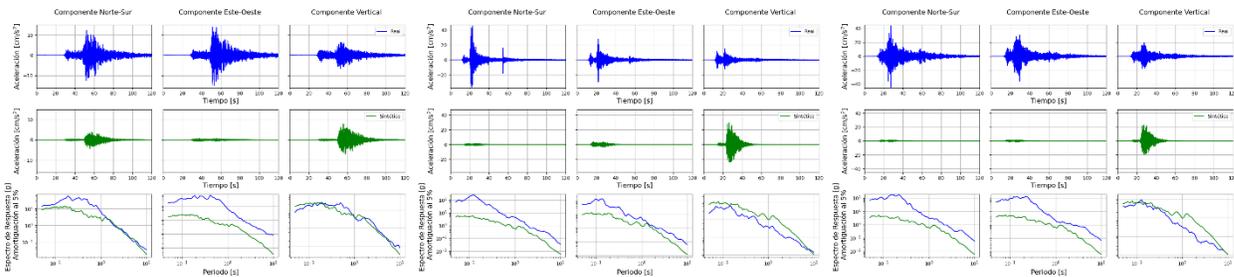


Figura 0-533. Estación A19C.

Figura 0-534. Estación A25C.

Figura 0-535. Estación A26C.

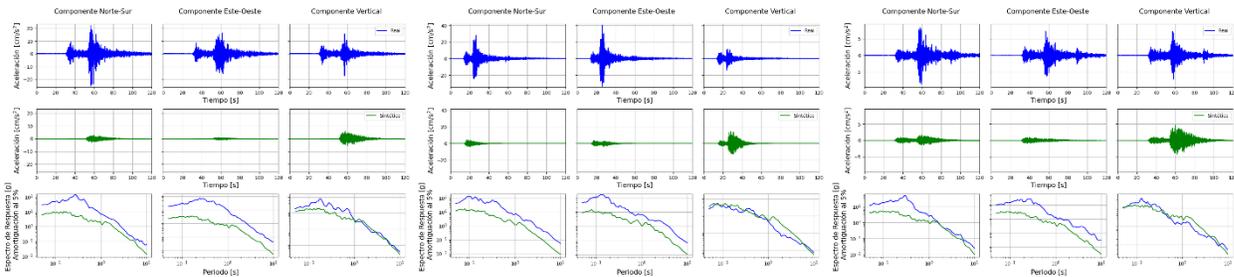


Figura 0-536. Estación A28C.

Figura 0-537. Estación AC04.

Figura 0-538. Estación C020.

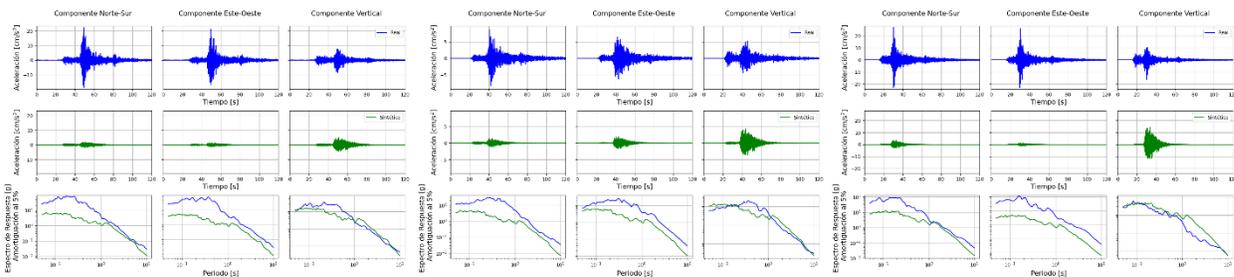


Figura 0-539. Estación C030.

Figura 0-540. Estación C060.

Figura 0-541. Estación C090.

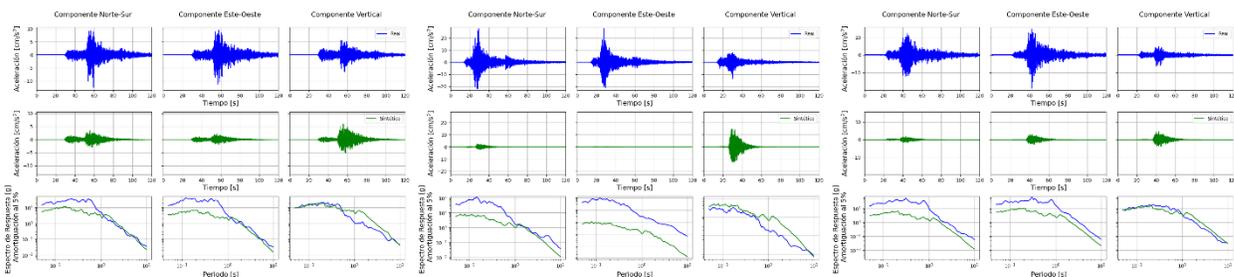


Figura 0-542. Estación C140.

Figura 0-543. Estación C150.

Figura 0-544. Estación C160.

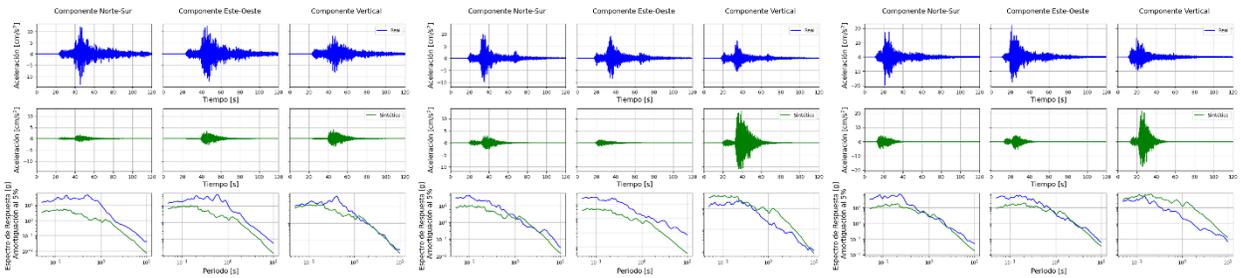


Figura 0-545. Estación C200. Figura 0-546. Estación C270. Figura 0-547. Estación C280.

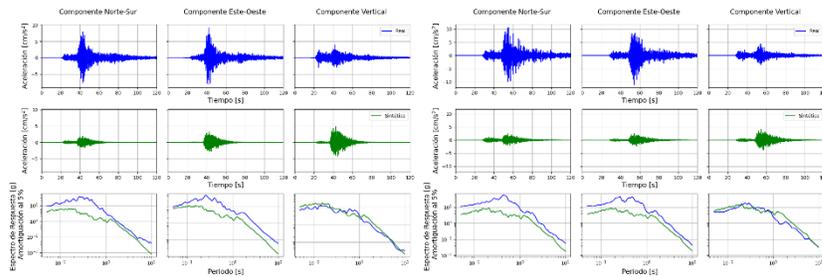


Figura 0-548. Estación C330. Figura 0-549. Estación G004.

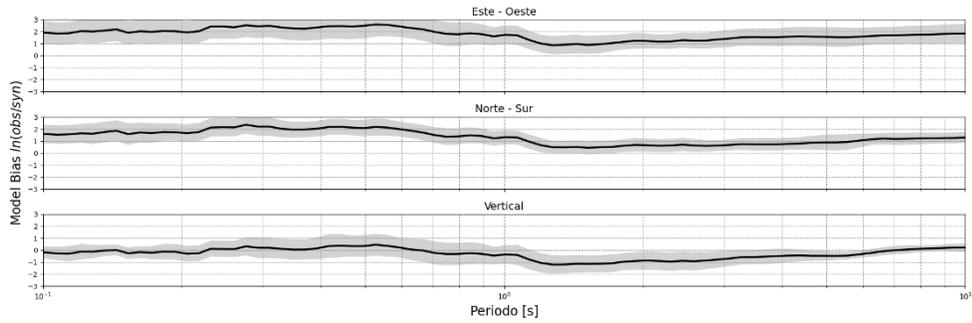


Figura 0-550. GOF del evento.

Evento N.º34

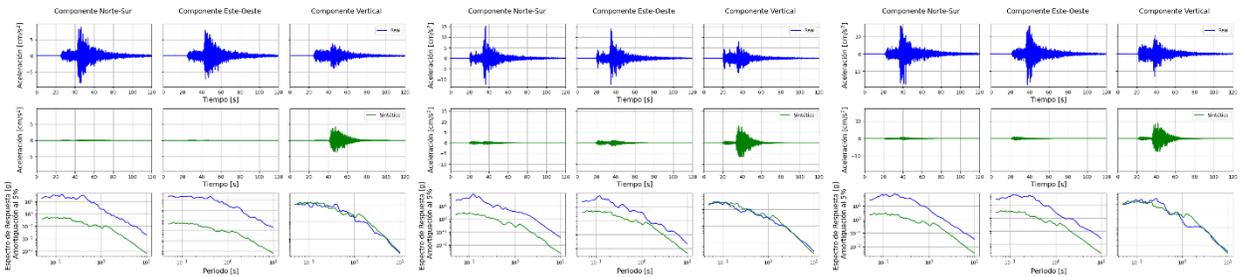


Figura 0-551. Estación A10C. Figura 0-552. Estación A25C. Figura 0-553. Estación C030.

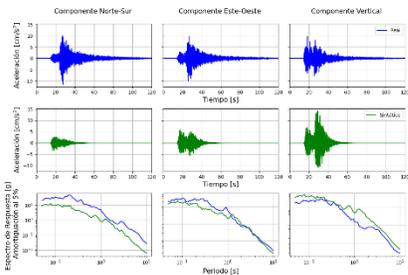


Figura 0-554. Estación C060.

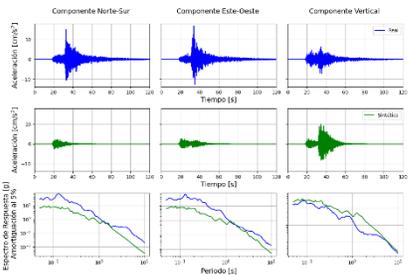


Figura 0-555. Estación C100.

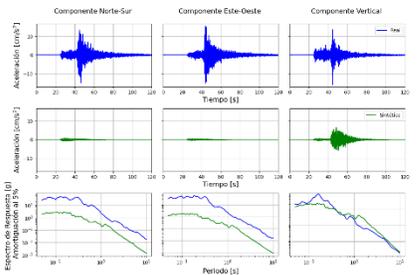


Figura 0-556. Estación C110.

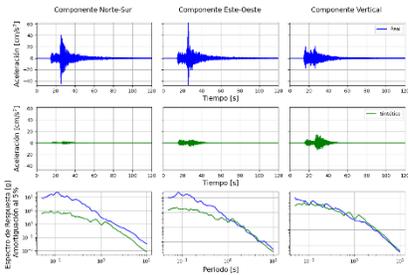


Figura 0-557. Estación C150.

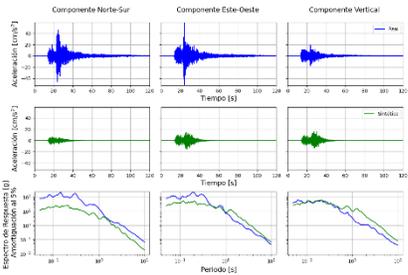


Figura 0-558. Estación C160.

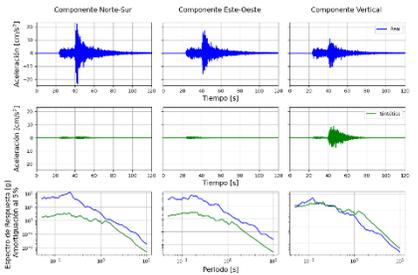


Figura 0-559. Estación C180.

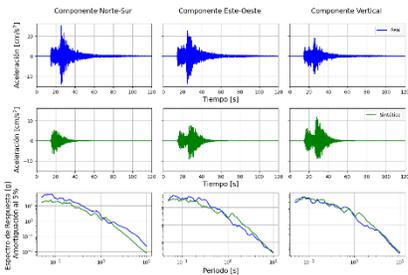


Figura 0-560. Estación C190.

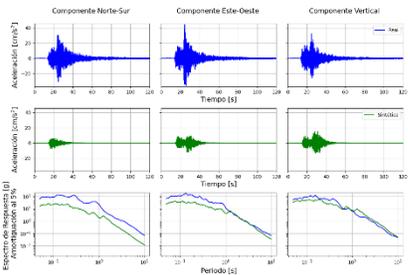


Figura 0-561. Estación C200.

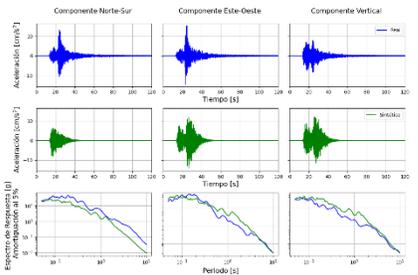


Figura 0-562. Estación C220.

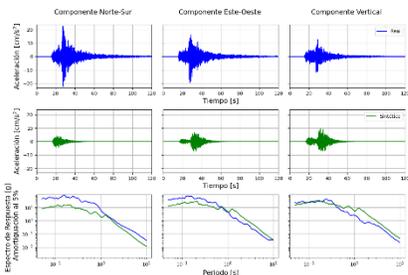


Figura 0-563. Estación C260.

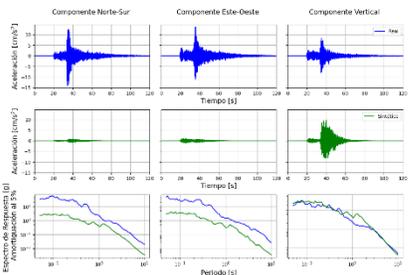


Figura 0-564. Estación C270.

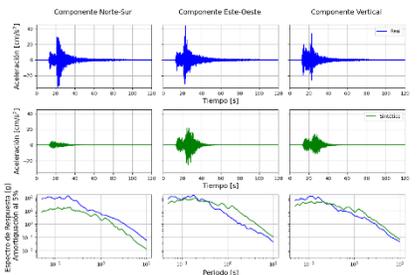


Figura 0-565. Estación C280.

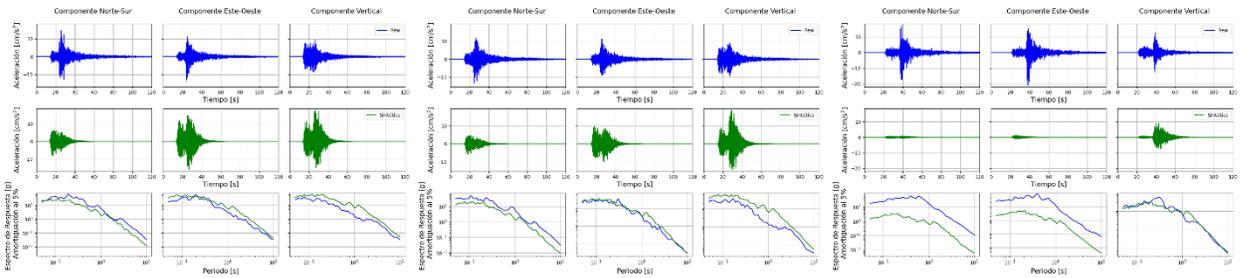


Figura 0-566. Estación C330. Figura 0-567. Estación CO05. Figura 0-568. Estación GO04.

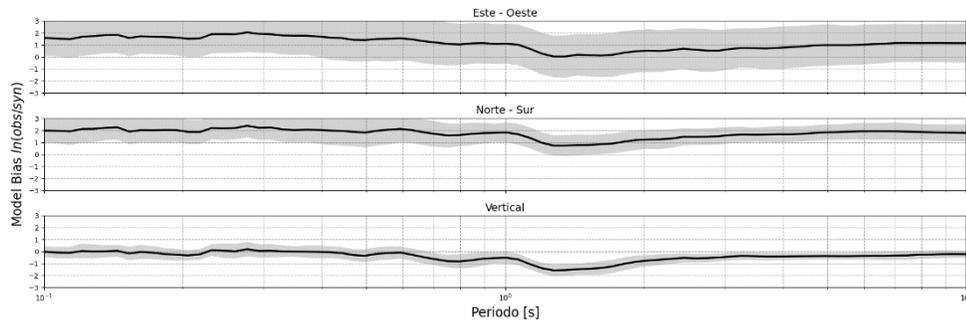


Figura 0-569. GOF del evento.

Evento N.º35

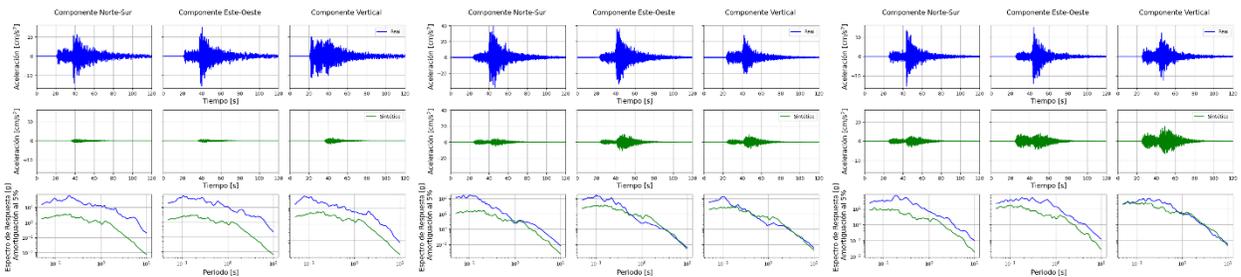


Figura 0-570. Estación A02F. Figura 0-571. Estación A05F. Figura 0-572. Estación A12F.

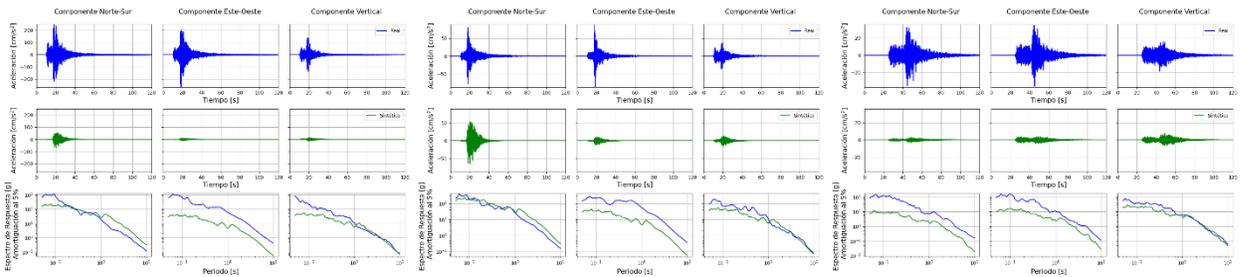


Figura 0-573. Estación A13F. Figura 0-574. Estación A16F. Figura 0-575. Estación A17F.

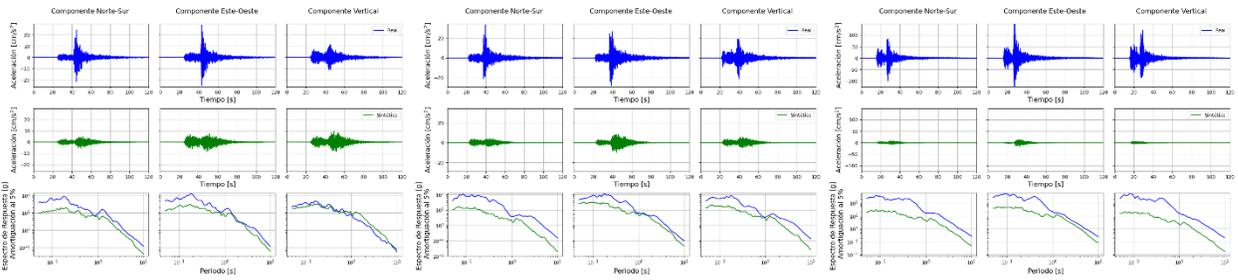


Figura 0-576. Estación A18F.

Figura 0-577. Estación PB01.

Figura 0-578. Estación PB02.

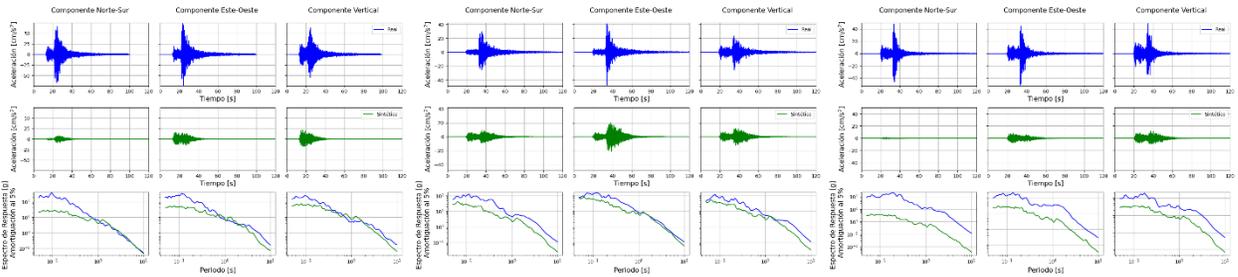


Figura 0-579. Estación PB03.

Figura 0-580. Estación PB06.

Figura 0-581. Estación PB09.

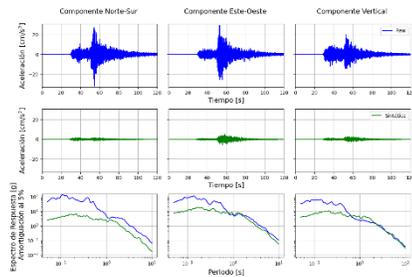


Figura 0-582. Estación T13A.

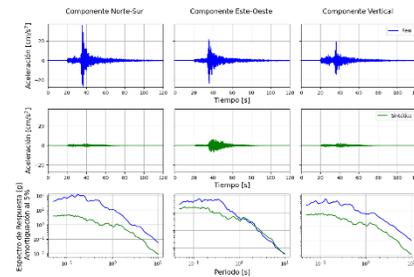


Figura 0-583. Estación T23A.

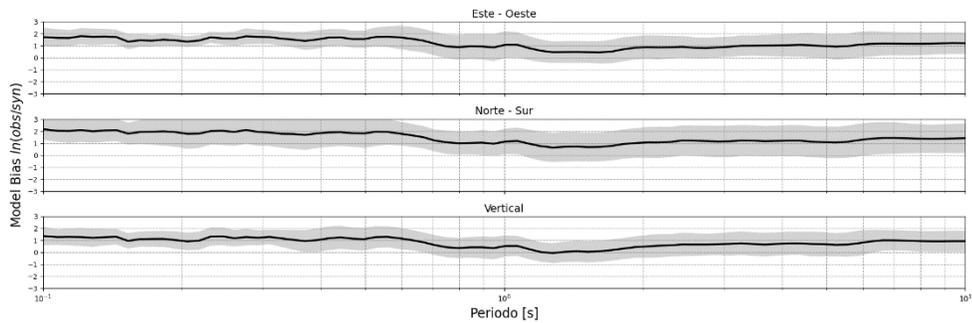


Figura 0-584. GOF del evento.

Evento N.º36

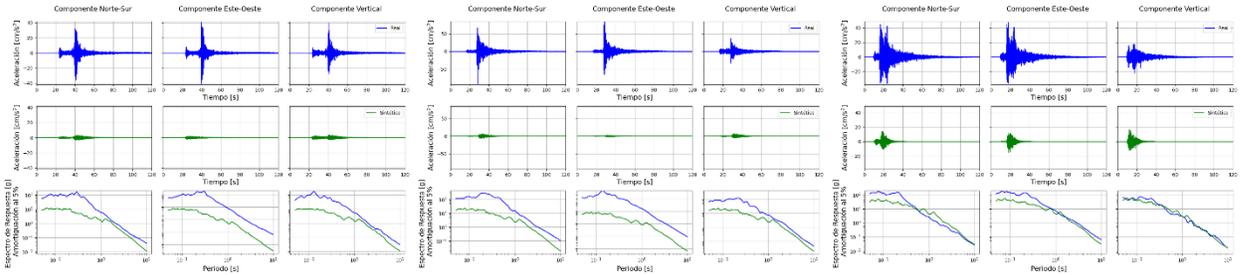


Figura 0-585. Estación C020.

Figura 0-586. Estación C030.

Figura 0-587. Estación C050.

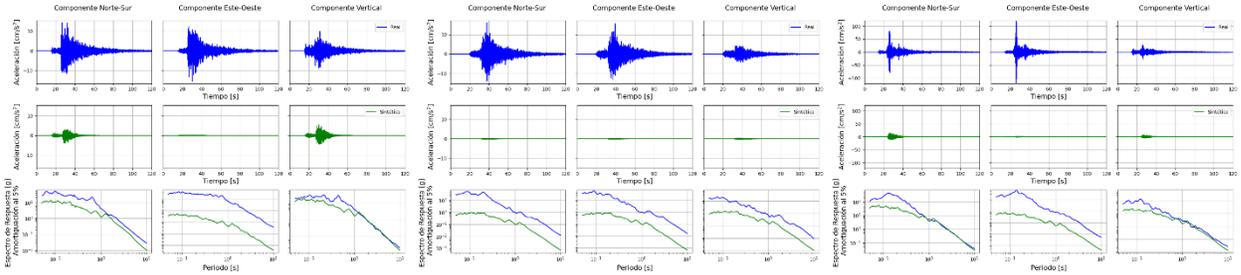


Figura 0-588. Estación C060.

Figura 0-589. Estación C070.

Figura 0-590. Estación C080.

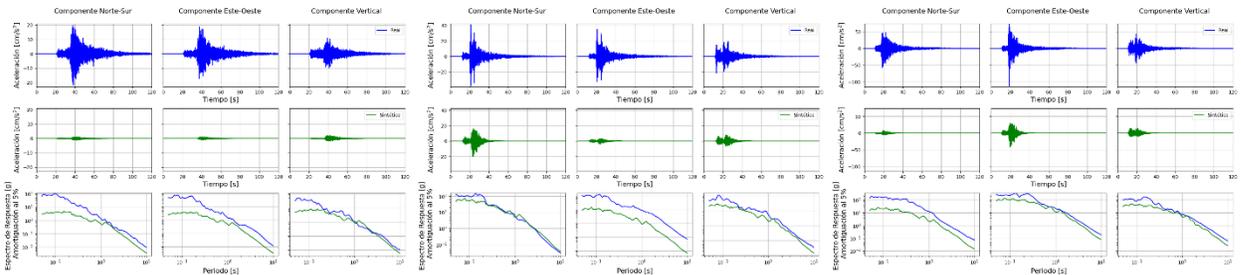


Figura 0-591. Estación C090.

Figura 0-592. Estación C100.

Figura 0-593. Estación C110.

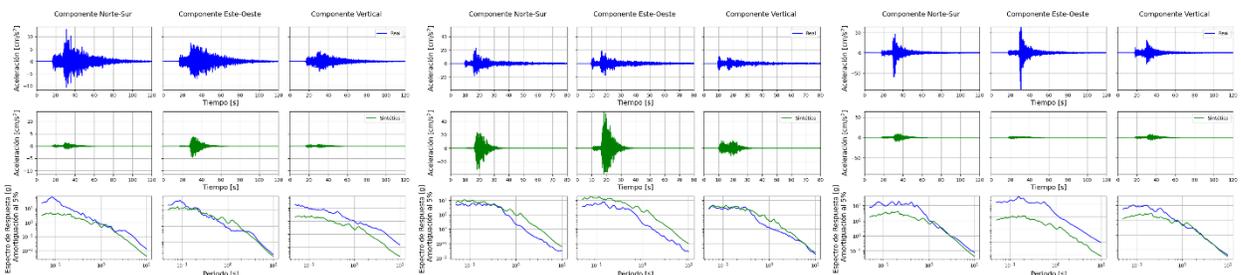


Figura 0-594. Estación C120.

Figura 0-595. Estación C130.

Figura 0-596. Estación C140.

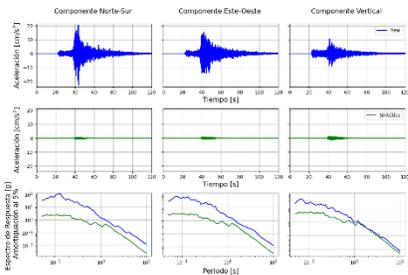


Figura 0-597. Estación C150.

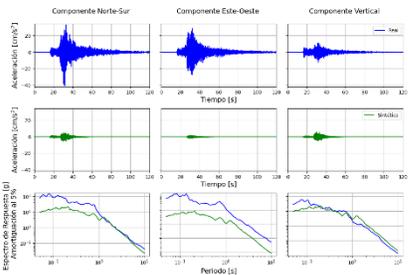


Figura 0-598. Estación C160.

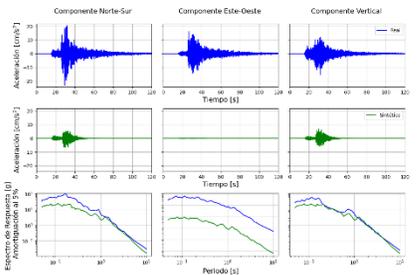


Figura 0-599. Estación C170.

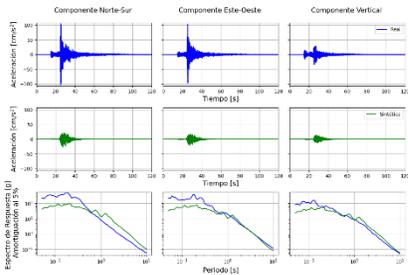


Figura 0-600. Estación C180.

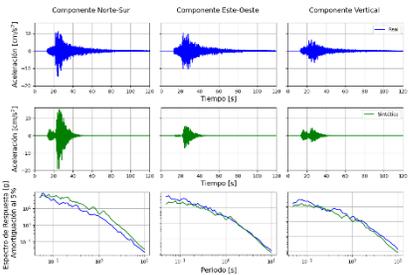


Figura 0-601. Estación C190.

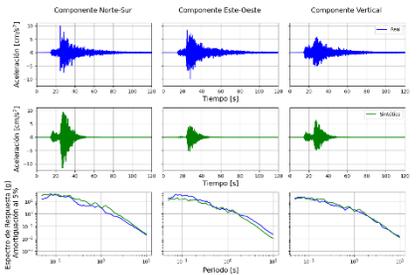


Figura 0-602. Estación C220.

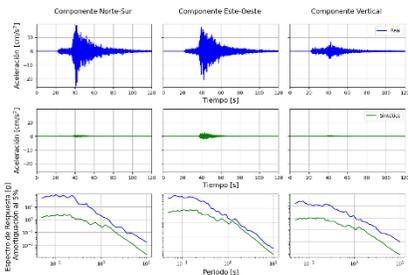


Figura 0-603. Estación C230.

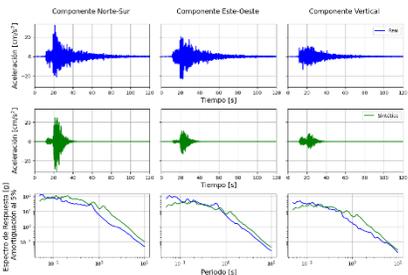


Figura 0-604. Estación C260.

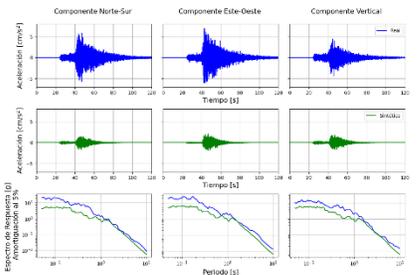


Figura 0-605. Estación C270.

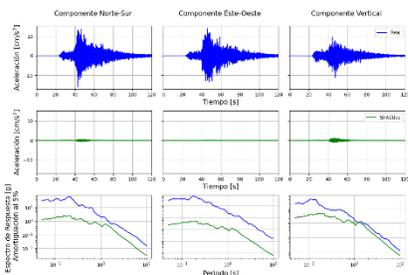


Figura 0-606. Estación C280.

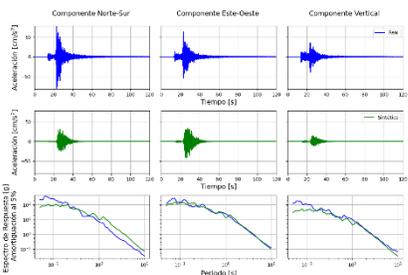


Figura 0-607. Estación C320.

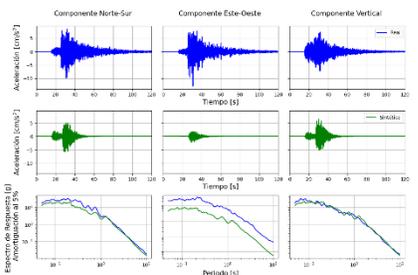


Figura 0-608. Estación C330.

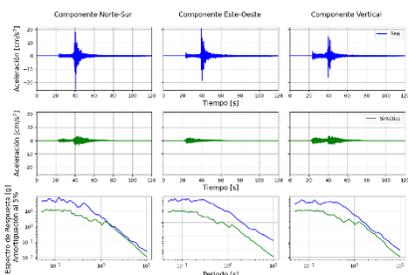


Figura 0-609. Estación CO01.

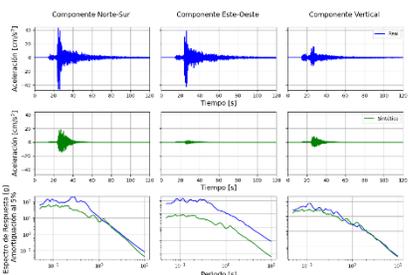


Figura 0-610. Estación CO02.

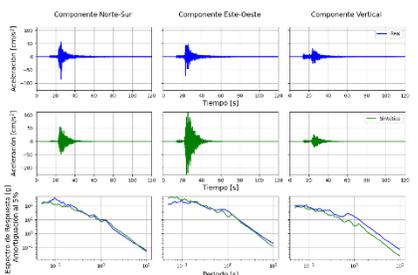


Figura 0-611. Estación CO03.

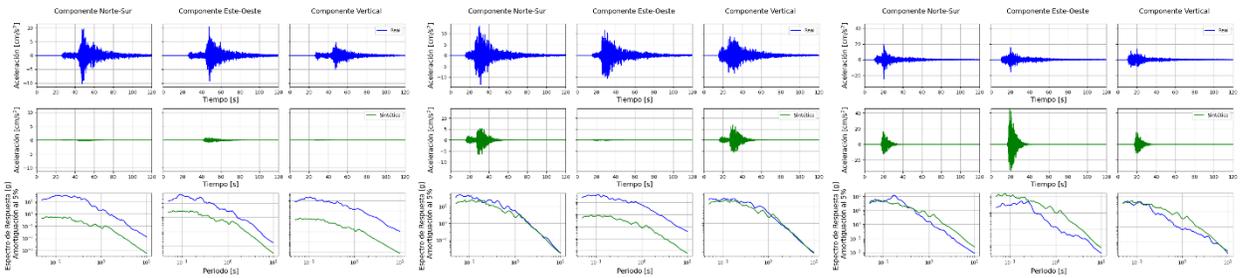


Figura 0-612. Estación CO04. Figura 0-613. Estación CO05. Figura 0-614. Estación CO06.

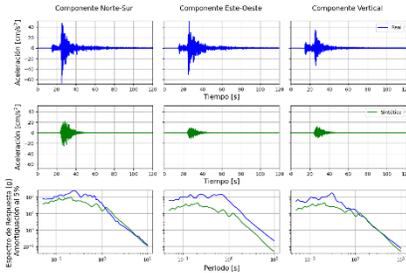


Figura 0-615. Estación GO04.

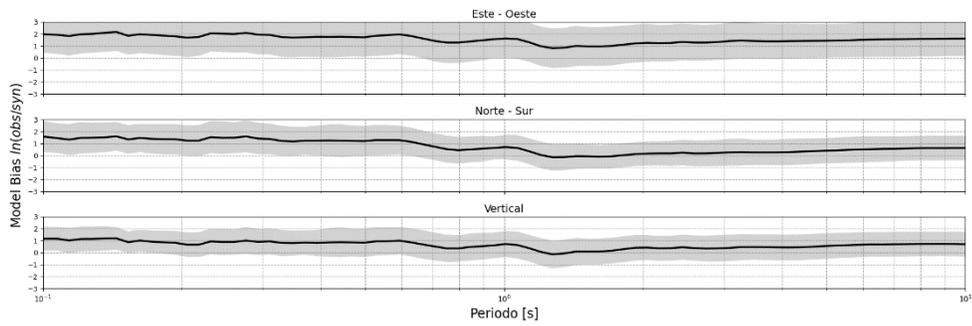


Figura 0-616. GOF del evento.

Evento N.º37

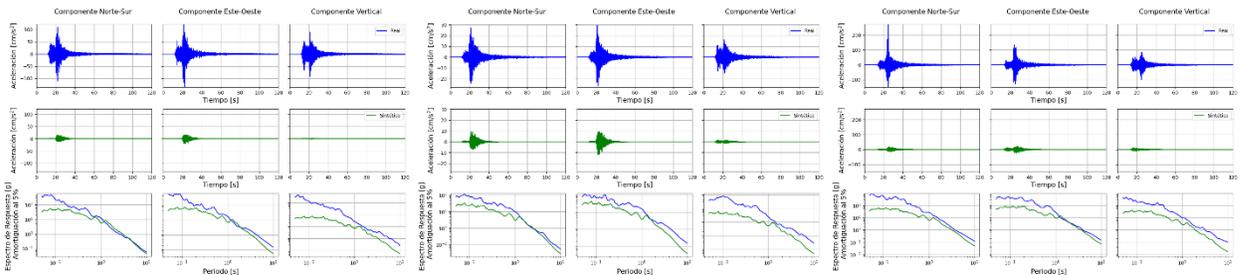


Figura 0-617. Estación A01C. Figura 0-618. Estación A02C. Figura 0-619. Estación A04C.

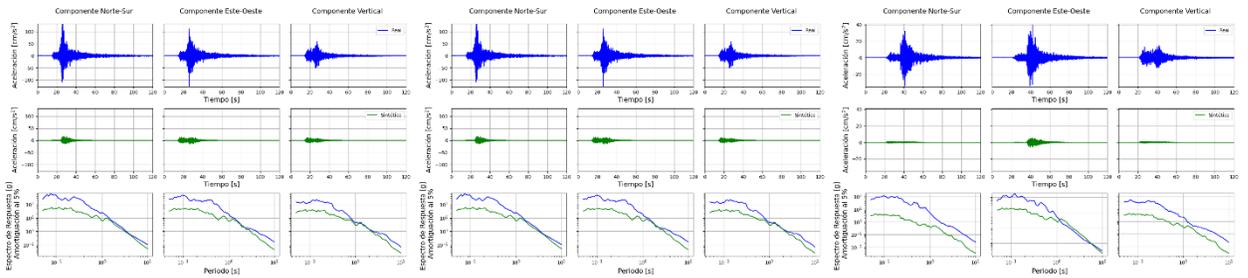


Figura 0-620. Estación A07C.

Figura 0-621. Estación A09C.

Figura 0-622. Estación A10C.

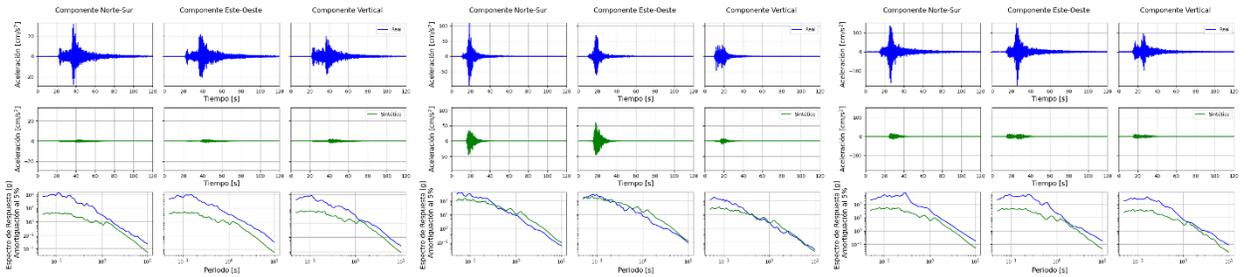


Figura 0-623. Estación A14C.

Figura 0-624. Estación A18C.

Figura 0-625. Estación A27C.

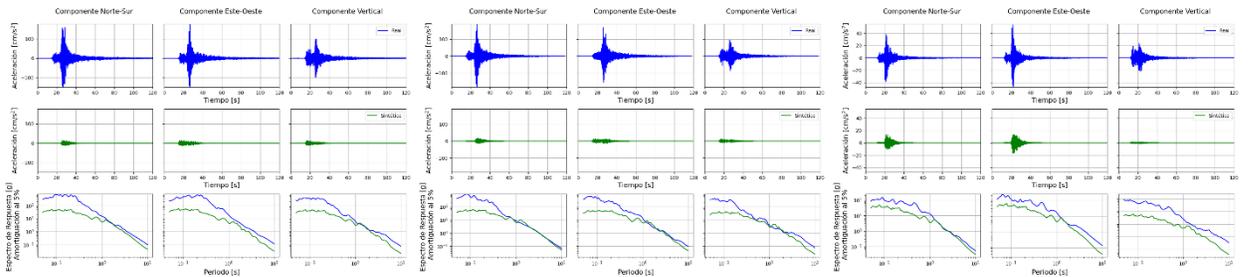


Figura 0-626. Estación A28C.

Figura 0-627. Estación A29C.

Figura 0-628. Estación A30C.

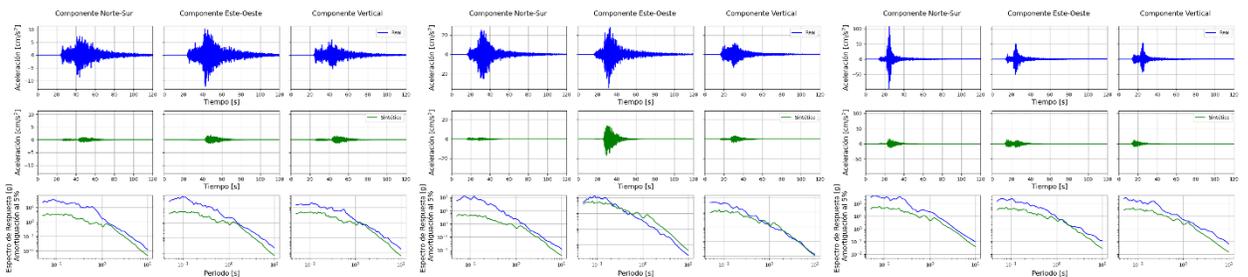


Figura 0-629. Estación AC01.

Figura 0-630. Estación AC04.

Figura 0-631. Estación AC06.

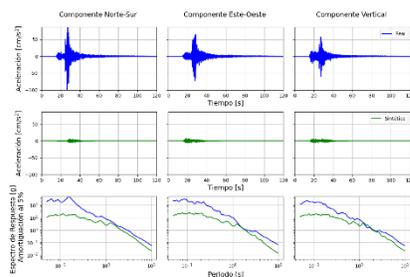


Figura 0-632. Estación GO03.

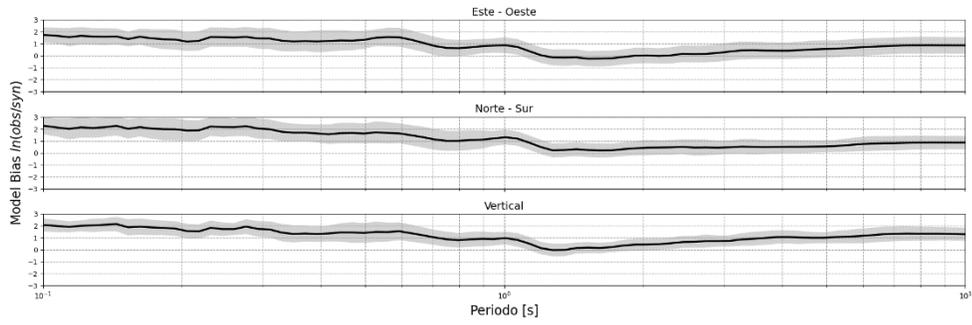


Figura 0-633. GOF del evento.

Evento N.º38

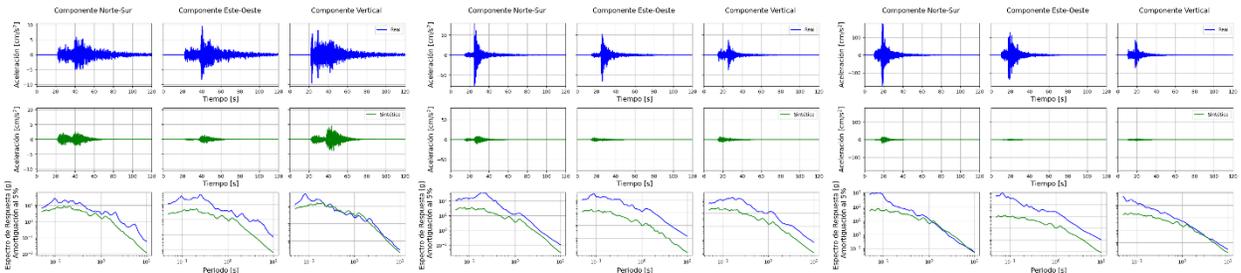


Figura 0-634. Estación A02F.

Figura 0-635. Estación A06F.

Figura 0-636. Estación A13F.

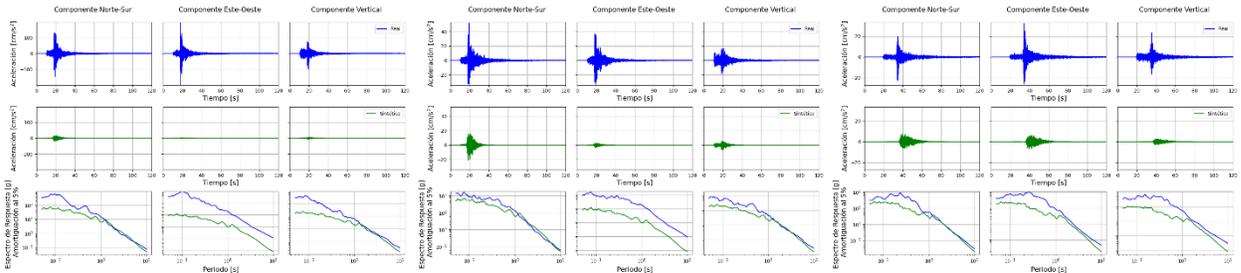


Figura 0-637. Estación A14F.

Figura 0-638. Estación A16F.

Figura 0-639. Estación PB01.

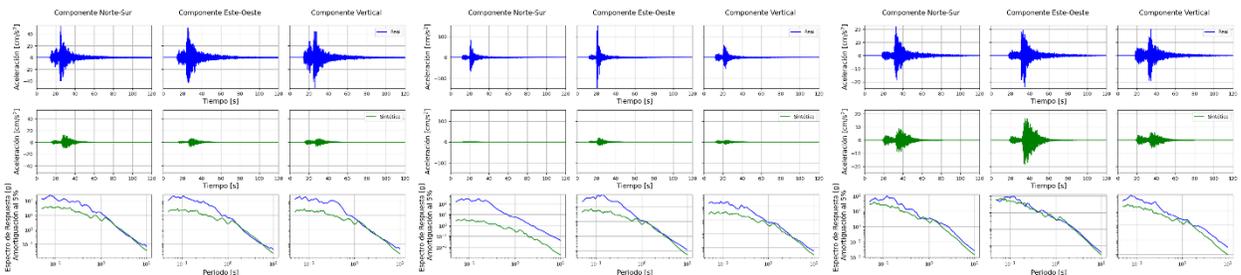


Figura 0-640. Estación PB02.

Figura 0-641. Estación PB03.

Figura 0-642. Estación PB06.

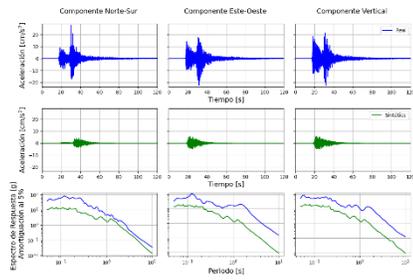


Figura 0-643. Estación PB09.

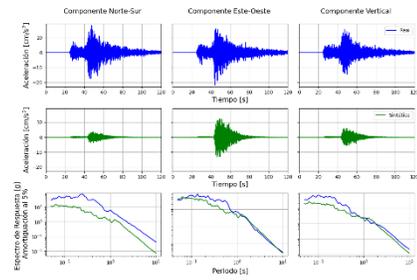


Figura 0-644. Estación PB15.

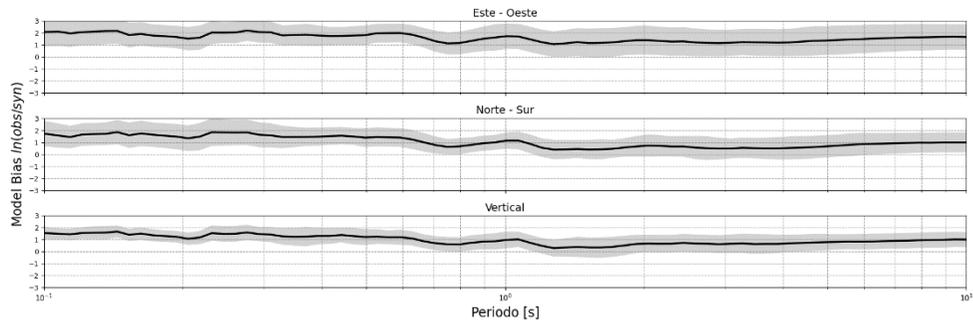


Figura 0-645. GOF del evento.