



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**DESARROLLO DE UN MODELO PREDICTIVO DE AMPLITUDES DE FOURIER PARA
CHILE**

POR

Maximiliano Luis Pablo Osses Valenzuela

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para optar
al título de Ingeniero Civil

Profesor Guía
Gonzalo Montalva Alvarado

Marzo 2023
Concepción (Chile)

© 2023 Maximiliano Luis Pablo Osses.

© 2023 Maximiliano Luis Pablo Osses.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre Jeannette, mi padre Luis y mi hermana Valentina por su apoyo incondicional durante mi formación académica.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco, en primer lugar, a mi familia quienes han sido un aporte fundamental en mi vida. A mi pareja quien me ha apoyado en todo el desarrollo de este trabajo. De igual forma a mis amigos y compañeros Jorge y Pedro quienes me brindaron su amistad y fueron un gran apoyo en mi etapa universitaria.

Se agradece el financiamiento parcial por parte del Núcleo Milenio CYCLO.

Agradezco igualmente, a mi profesor guía Gonzalo Montalva, por su ayuda y orientación durante el desarrollo de este trabajo, así como a los profesores Patricio Cendoya y Matthew Miller.

Por último, agradecer a Nicolas Bastías y a Felipe Paredes, quienes me ayudaron aclarándome dudas y dando consejos e indicaciones.

RESUMEN

Chile es uno de los países más activos sísmicamente debido a su ubicación cerca de la zona de subducción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana. Esto causa sismos de mediana y gran magnitud que pueden causar grandes daños. Para estimar el movimiento del suelo durante un terremoto, se usan modelos de movimiento de suelo basados en la magnitud del evento sísmico y las características del sitio y la fuente. Estos modelos se usan en el análisis de peligro sísmico para predecir los efectos de los sismos en personas, infraestructura y medio ambiente. Los modelos proporcionan valores espectrales para evaluar la capacidad de las estructuras para resistir los efectos del terremoto.

Este trabajo tuvo por objetivo desarrollar un modelo de Amplitudes de Fourier para Chile. Para realizar este modelo se recopilaron los datos de registros de aceleración disponibles en el Centro Sismológico Nacional, además de metadatos necesarios para definir las variables explicativas del modelo. Estos registros de aceleración fueron procesados según las técnicas usadas actualmente para obtener así los espectros de Fourier de cada registro. Una vez obtenidos los espectros de Fourier y los metadatos se definió una forma funcional considerando los avances más recientes en la materia. Finalmente, mediante el uso de softwares especializados en inferencia Bayesiana se obtienen los coeficientes que describen las amplitudes de Fourier. Además, se revisaron los residuales del modelo con el fin de validarlo y también se propuso unas modificaciones basadas en efectos de sitio y fuente sísmica.

Los resultados obtenidos corresponden a los valores de los coeficientes de la función utilizados para calcular el movimiento del suelo en 17 frecuencias dentro del rango de 0.1 a 45 Hz. Una vez añadido el efecto de la fuente, los valores de las amplitudes de Fourier pudieron ser extendidos hasta los 100 Hz. Para evaluar la validez del modelo, se analizaron los residuos y se comprobó que se ajustaban adecuadamente. Estos resultados son de gran importancia para el análisis de peligro sísmico, ya que permiten predecir el movimiento del suelo y evaluar la capacidad de las estructuras para resistir los efectos producidos por un sismo.

ABSTRACT

Chile is one of the most seismically active countries due to its location near the subduction zone of the Nazca and South American tectonic plates, resulting in medium to large magnitude earthquakes that can cause significant damage. Ground-motion models based on earthquake magnitude and site and source characteristics are used to estimate ground motion during earthquakes. These models are used in seismic hazard analysis to predict the effects of earthquakes on people, infrastructure, and the environment. The models provide spectral values to evaluate the capacity of structures to resist earthquake effects.

The objective of this work was to generate a Fourier Amplitude model for Chile. To achieve this, acceleration records available at the National Seismological Center and metadata, necessary to define the explanatory variables of the model, were collected. These acceleration records were processed using current techniques to obtain Fourier spectra for each record. Once the Fourier spectra and metadata were obtained, a functional form was defined considering recent advances in the field. Finally, using specialized software in Bayesian inference, coefficients describing Fourier amplitudes were obtained. Additionally, the residuals of the model were reviewed to validate it and modifications based on site and seismic source effects were proposed.

The results obtained correspond to the values of the function coefficients used to calculate ground motion at 17 frequencies within the range of 0.1 to 45 Hz. Once the source effect was added, Fourier amplitude values could be extended up to 100 Hz. To evaluate the validity of the model, residuals were analyzed and found to fit adequately. These results are of great importance in seismic hazard analysis, as they allow predicting ground motion and evaluating the ability of structures to resist the effects of an earthquake.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Alcances	2
1.4 Plan de Trabajo.....	2
1.5 Principales resultados	3
1.6 Organización de la memoria	3
CAPÍTULO 2 MODELOS DE AMPLITUDES DE FOURIER.....	4
2.1 Introducción	4
2.2 Transformada de Fourier	4
2.3 Modelos de amplitudes de Fourier	5
2.4 Conclusiones	11
CAPÍTULO 3 BASE DE DATOS	12
3.1 Introducción	12
3.2 Base de datos de los eventos sísmicos	12
3.3 Procesamiento de registros sísmicos	16
3.4 Base de datos final.....	18
3.5 Conclusiones	19
CAPÍTULO 4 FORMA FUNCIONAL Y METODOLOGÍA DE LA REGRESIÓN.....	20
4.1 Introducción	20
4.2 Forma funcional y modelamiento de los residuales	20
4.3 Metodología de regresión.....	22
4.4 Conclusiones	23

CAPÍTULO 5 MODELO DE AMPLITUDES DE FOURIER PARA CHILE	24
5.1 Introducción	24
5.2 Modelo predictivo de Amplitudes de Fourier	24
5.3 Análisis de residuales	28
5.4 Comparación con BA19	36
5.5 Conclusiones	37
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES.....	38
REFERENCIAS.....	40
ANEXO 1.1 CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	42
ANEXO 3.1 DATOS DISPONIBLES	43
ANEXO 3.2 BASE DE DATOS SEGÚN ESTACIÓN Y EVENTOS	44
ANEXO 3.3 PROCESAMIENTO DE REGISTROS	78
ANEXO 3.4 DISTRIBUCION ESPACIAL DE REGISTROS	79
ANEXO 4.1 FORMA FUNCIONAL Y RESIDUALES	80
ANEXO 5.1 COEFICIENTES Y DESVIACION ESTANDAR	82
ANEXO 5.2 INTERACCION ENTRE RSTUDIO Y STAN	84
ANEXO 5.3 RESIDUALES Y VALORES P.....	85

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 3.1 Criterio para determinar las dimensiones del plano de falla	15
Tabla 5.1 p value para la pendiente del modelo lineal para el residual δBe vs MW	29
Tabla 5.2 p value para la pendiente del modelo lineal para el residual $\delta WS2S$ vs $VS30$	30
Tabla 5.3 p value para la pendiente del modelo lineal para el residual $\delta W0$ vs MW	31
Tabla 5.4 p value para la pendiente del modelo lineal para el residual $\delta W0$ vs $RRUP$	32
Tabla 5.5 p value para la pendiente del modelo lineal para el residual $\delta W0$ vs $VS30$	33
Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos	44
Tabla A. 3.2.2 Base de datos de las estaciones	70
Tabla A. 5.1.1 Coeficientes y desviación estándar obtenidas por regresión.	82
Tabla A. 5.3.1 p value para la pendiente del modelo lineal para el residual δBe vs MW . Para el rango 3 a 45 Hz.	87
Tabla A. 5.3.2 p value para la pendiente del modelo lineal para el residual $\delta WS2S$ vs $VS30$. Para el rango 3 a 45 Hz.	90
Tabla A. 5.3.3 p value para la pendiente del modelo lineal para el residual $\delta W0$ vs MW . Para el rango 3 a 45 Hz.	93
Tabla A. 5.3.4 p value para la pendiente del modelo lineal para el residual $\delta W0$ vs $RRUP$. Para el rango 3 a 45 Hz.	96
Tabla A. 5.3.5 p value para la pendiente del modelo lineal para el residual $\delta W0$ vs $VS30$. Para el rango 3 a 45 Hz.	99

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 3.1 a) Eventos interplaca e Intraplaca según su magnitud y distancia a la ruptura [km]. b) Eventos interplaca e Intraplaca según su magnitud y profundidad focal [km]	14
Figura 3.2 Plano de falla con los ángulos de inclinación, rumbo y desplazamiento (<i>slip</i> , <i>dip</i> y <i>strike</i> respectivamente).....	14
Figura 3.3 Esquema con las diferentes ventanas de un registro sísmico.....	16
Figura 3.4 Razón ruido señal (SNR) de un registro de aceleración	17
Figura 3.5 Comparación de un registro sin procesar (gris) y un registro procesado (azul)	18
Figura 4.1 modelo EAS según magnitud, $R_{RUP} = 200$ km $V_{S30} = 300$ m/s	21
Figura 5.1 Función ventana descrita en la ecuación (5.4), $f_0 = 2$ Hz.	27
Figura 5.2 Función ventana descrita en la ecuación (5.9)	28
Figura 5.3 Residual δBe vs MW para las frecuencias 0.1, 0.4, 0.7, 1 y 2 Hz.	29
Figura 5.4 Residual $\delta WS2S$ vs $VS30$ para las frecuencias 0.1, 0.4, 0.7, 1 y 2 Hz.	30
Figura 5.5 Residual $\delta W0$ vs MW para las frecuencias 0.1, 0.4, 0.7 1 y 2 Hz.	31
Figura 5.6 Residual $\delta W0$ vs $RRUP$ para las frecuencias 0.1, 0.4, 0.7, 1 y 2 Hz.	32
Figura 5.7 Residual $\delta W0$ vs $VS30$ para las frecuencias 0.1, 0.4, 0.7 1 y 2 Hz.	33
Figura 5.8 Residual total en f_0 con y sin <i>supple</i>	34
Figura 5.10 residual total considerando el decaimiento hasta los 50 Hz.	35
Figura 5.11 Residual total considerando el decaimiento hasta los 100 Hz.	35
Figura 5.12 Comparación de <i>EASOBS</i> (EAS observado), <i>EASBA19</i> (modelo BA19) y <i>EASthis model</i> , a) Con <i>supple</i> y decaimiento a 50 Hz. b) Sin <i>supple</i> y decaimiento a 50 Hz. c) Con <i>supple</i> y decaimiento a 100 Hz. d) Sin <i>supple</i> y decaimiento a 100 Hz.	36
Figura A. 3.1.1 Distribución de la cantidad de eventos según su año.....	43
Figura A. 3.2.1 Distribución de las estaciones en el territorio chileno según Macrozona.....	77

Figura A. 3.3.1 Diagrama de flujo proceso de filtrado de los Registros de aceleración.	78
Figura A. 3.4.1 Distribución de los eventos en el territorio chileno de la base de datos	79
Figura A. 4.1.1 representación gráfica de los residuales <i>Between-event</i> y <i>Within-event</i> , (Al Atik et al., 2010).....	80
Figura A. 5.1.1 Desviación estándar (τ , ϕSS y $\phi S2S$)vs frecuencia.	83
Figura A. 5.2.1 Diagrama de flujo sobre la interacción entre los <i>scripts</i> de Rstudio y STAN	84
Figura A. 5.3.1 Residual δBe vs MW para las frecuencias 3, 4, 5, 6, 7 y 8 Hz.....	85
Figura A. 5.3.2 Residual δBe vs MW para las frecuencias 9, 10, 20, 30, 40, y 45 Hz.....	86
Figura A. 5.3.3 Residual $\delta WS2S$ vs $VS30$ para las frecuencias 3, 4, 5, 6, 7, y 8 Hz.	88
Figura A. 5.3.4 Residual $\delta WS2S$ vs $VS30$ para las frecuencias 9, 10, 20, 30, 40 y 45 Hz.	89
Figura A. 5.3.5 Residual $\delta W0$ vs MW para las frecuencias 3, 4, 5, 6, 7 y 8 Hz.	91
Figura A. 5.3.6 Residual $\delta W0$ vs MW para las frecuencias 9, 10, 20, 30, 40 y 45 Hz.	92
Figura A. 5.3.7 Residual $\delta W0$ vs $RRUP$ para las frecuencias 3, 4, 5, 6, 7 y 8 Hz.	94
Figura A. 5.3.8 Residual $\delta W0$ vs $RRUP$ para las frecuencias 9, 10, 20, 30, 40 y 45 Hz.	95
Figura A. 5.3.9 Residual $\delta W0$ vs $VS30$ para las frecuencias 3, 4, 5, 6, 7 y 8 Hz.....	97
Figura A. 5.3.10 Residual $\delta W0$ vs $VS30$ para las frecuencias 9, 10, 20, 30, 40 y 45 Hz.....	98

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

Chile es uno de los países más activos sísmicamente, ya que se encuentra emplazado cerca de la zona de subducción de las placas de Nazca y Sudamericana. Debido a esto, en Chile es frecuente observar sismos de mediana y gran magnitud ($M_w > 8$). Como consecuencia, estos eventos han generado grandes daños al país, y actualmente siguen siendo una amenaza.

Los modelos de movimiento de suelo (también conocidos como '*Ground-Motion Models*', GMM de sus siglas en inglés). Son usados para estimar el movimiento del suelo en un sitio dado, dicha estimación se basa en la magnitud del evento sísmico, características de la fuente y del sitio. Estos modelos son usados para análisis de peligro sísmico determinístico y probabilístico. Tradicionalmente estos modelos corresponden a la obtención de valores espectrales para un rango de periodos, sin embargo, estos valores espectrales representan la respuesta de una estructura de un grado de libertad frente a un evento sísmico. Dicho valor espectral corresponde a la respuesta máxima según su periodo fundamental.

En este trabajo se plantea como alternativa el uso de espectros de Amplitudes de Fourier ('*Fourier Amplitude Spectrum*', FAS de sus siglas en inglés) en lugar de los valores espectrales. Entre las ventajas que considera el uso del FAS se encuentran: la facilidad para restringir valores considerando la teoría sismológica, permitiendo escalar el modelo para otros entornos sísmicos; la variedad de estudios que modelan el FAS, para ser usados como marco de referencia; la estrecha relación entre la física detrás del movimiento de suelo, que permite calibrar parámetros de entrada para métodos de falla finita que están basados en GMMs; etc.

Para esto, se recopiló una base de datos que consta de 4135 registros de 789 eventos, registrados en 184 estaciones. Estos datos fueron obtenidos del Centro Sismológico Nacional (CSN) y *Global Centroid Moment Tensor*, (Ekström et al., 2012), (CMT, de sus siglas en inglés).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

El objetivo general de este trabajo es postular un nuevo modelo de Amplitudes de Fourier para Chile, incluyendo parámetros de caracterización de sitio.

1.2.2 Objetivos secundarios

- Generar una base de registros sísmicos, caracterizados apropiadamente según sismogénesis, magnitud, plano de falla y distancias a la ruptura.
- Estudiar el efecto de sitio, trayectoria y fuente para los valores de Amplitudes de Fourier.
- Estudiar e implementar un *script* para realizar regresiones mediante inferencia Bayesiana.
- Generar un *script* que genere los valores de Amplitudes de Fourier.

1.3 Alcances

Los alcances de este trabajo son, principalmente que se cuenta con datos disponibles en el CSN y en CMT, no contempla mediciones *in-situ*.

1.4 Plan de Trabajo

Este trabajo se dividió en seis etapas: (i) se realiza una revisión del estado del arte sobre los modelos de Amplitudes de Fourier; (ii) se creó una base de datos con los registros disponibles en el CSN, en paralelo se obtienen los datos de las estaciones disponibles, obteniendo así metadatos para trayectoria, fuente y el sitio de interés; (iii) procesado y filtrado de los registros que componen la base de datos, siguiendo una metodología usada con anterioridad en trabajos similares; (iv) se obtienen las

Amplitudes de Fourier para cada señal; (v) mediante el *software* R y su librería STAN, se obtienen los coeficientes necesarios del modelo; (vi) análisis de resultados.

1.5 Principales resultados

Se obtienen una base de datos de registros significativos con sus metadatos correspondientes a los eventos y las estaciones. Dicha base de datos contiene eventos significativos entre los años 2012 a 2021.

Se obtienen una estimación de la distancia a la ruptura haciendo uso del modelo para las dimensiones de la falla sísmica (Thingbaijam et al., 2017) y se obtienen una estimación de la frecuencia natural del suelo para las estaciones que no tenían la frecuencia natural disponible en los datos del CSN. Se realizó la estimación mediante la razón H/V .

Se obtienen un modelo de Amplitudes de Fourier para Chile, obteniendo un mejor ajuste comparado con los modelos basados en otros entornos sísmicos aplicados a la base de datos.

1.6 Organización de la memoria

Esta memoria de título está compuesta por seis capítulos, donde el primero corresponde al capítulo introductorio. En el segundo capítulo, se explican los conceptos teóricos detrás de la transformada de Fourier, además se profundiza en los modelos actuales de Amplitudes de Fourier usados en el mundo. El tercer capítulo se compone por la explicación de la base de datos, la metodología para su filtrado y la obtención de los metadatos ya sea por calculo directo o recopilación de distintas fuentes. El cuarto capítulo presenta la forma funcional y la metodología de la regresión. Luego, en el quinto capítulo se detalla el modelo comparando su mediana con los valores observados mediante el análisis de residuales. Finalmente, el sexto capítulo presenta las conclusiones de este trabajo.

CAPÍTULO 2 MODELOS DE AMPLITUDES DE FOURIER.

2.1 Introducción

Los sismos son generados por la energía elástica acumulada en el contacto entre placas. El movimiento generado puede ocasionar un impacto significativo en todas las estructuras de la zona afectada. Parte importante para evitar los daños producidos por el movimiento del suelo corresponde a estimar la demanda sísmica en la estructura, es decir, predecir las intensidades. Para modelar las intensidades sísmicas en superficie, se desarrollan ecuaciones de predicción del movimiento del suelo (GMPE, *Ground Motion Prediction Equations*, por sus siglas en inglés). Los GMPE relacionan las intensidades sísmicas observadas con variables explicativas del fenómeno sísmico, generalmente diferenciando los efectos de trayectoria, fuente y sitio.

En este capítulo se presentan algunos GMPE basados en modelar las amplitudes de Fourier de la onda sísmica. Además, se presentan las ideas principales sobre la transformada de Fourier.

2.2 Transformada de Fourier

La transformada de Fourier es un operador lineal, la cual es usada para expresar una señal que se encuentra en el dominio del tiempo, como una señal en el dominio de la frecuencia. Además, mediante la transformada inversa de Fourier es posible obtener la señal en el dominio del tiempo a partir de la señal en el dominio de la frecuencia.

La transformada de Fourier de una traza de Aceleración $a(t)$ está dado por:

$$A(\omega) = \int_0^{\infty} a(t)e^{-i\omega t} dt \quad (2.1)$$

En términos de amplitudes y fase, para distintas frecuencias $A(\omega)$ puede ser escrito como

$$A(\omega) = |A(\omega)|e^{-i\varphi(\omega)} \quad \text{con} \quad \varphi(\omega) = \arctan\left(\frac{\text{Im}(A(\omega))}{\text{Re}(A(\omega))}\right) \quad (2.2)$$

La amplitud de $A(\omega)$, que corresponde al espectro de amplitudes de Fourier de la traza $a(t)$ y queda definida como $|A(\omega)|$. Por otra parte, $\varphi(\omega)$ corresponde al espectro de fase de Fourier.

Si $|A(\omega)|$ y $\varphi(\omega)$ son conocidos, se puede volver al dominio del tiempo con la transformada inversa de Fourier, que queda definida por:

$$a(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} A(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (2.3)$$

2.3 Modelos de amplitudes de Fourier

Los GMM tradicionalmente, han sido usados para obtener valores de espectros de respuestas dentro de un rango de periodos espectrales. Estos espectros pueden ser usados tanto para análisis de riesgo sísmico determinístico y probabilístico para obtener espectros de diseño. Sin embargo, estos valores espectrales de diseño no representan el movimiento del suelo directamente. Como alternativa, se pueden usar los valores espectrales de Fourier, lo que trae consigo varias ventajas, entre esas, que el *Fourier Amplitude Spectrum* (Espectro de amplitudes de Fourier; FAS de sus siglas en inglés) es una representación más directa del contenido de frecuencias de un evento que un espectro de Pseudo-aceleraciones.

2.3.1 Modelo de (Bindi et al., 2019)

El modelo de amplitudes de Fourier de (Bindi et al., 2019), B19 para simplificar, toma como base de datos los registros pertenecientes a las regiones europeas y del medio oriente desarrollada por (Lanzano et al., 2019). Esta tiene eventos con magnitudes en el rango 3.5 y 7.8, ocurridos desde 1970. La forma funcional del modelo B19 es:

$$\log Y = e_1 + F(M_W) + G(R_{hypo}) + RE + \epsilon \quad (2.4)$$

Donde Y corresponde a las amplitudes de Fourier medianas y e_1 corresponde a un término compensatorio para ajustar la dependencia de magnitud y distancia. El modelo depende principalmente de la magnitud y la distancia al hipocentro. Como se mencionó anteriormente, esta dependencia es representada en los términos $F(M_W)$ y $G(R_{hypo})$. Estos términos corresponden a:

$$F(M_W) = \begin{cases} b_1(M_W - M_{ref}); & \text{si } M_W \leq M_H \\ b_1(M_H - M_{ref}) + b_3(M_W - M_H); & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (2.5)$$

$$G(R_{hypo}) = \begin{cases} c_{1A} \log(R_{hypo}); & \text{si } R_{hypo} \leq R_H \\ c_{1A} \log(R_{hypo}) + c_{1B} \log\left(\frac{R_{hypo}}{R_H}\right) + c_3 R_{hypo}; & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (2.6)$$

Donde, $M_{ref} = 4.5$, $M_H = 6$, $R_H = 15 \text{ km}$. Estas variables corresponden a la magnitud de referencia, la magnitud bisagra (*hinge*, de su traducción al inglés) y la distancia a la ruptura bisagra.

En la ecuación (2.4) el efecto aleatorio es:

$$RE = \delta B_e + \delta S_2 S_s + \delta C_2 C_c \quad (2.7)$$

El efecto aleatorio se compone por, el efecto aleatorio país a país corresponde al residual $\delta C_2 C_c$ (Country-to-Country, de su traducción del inglés) en donde el índice c indica el país, el residual entre eventos δB_e y el residual entre estaciones $\delta S_2 S_s$. Donde los sub-índices e y s corresponden a los índices de eventos y estaciones respectivamente. Por otra parte, el residual ϵ representa la variabilidad de registro a registro corregida por evento y estación.

2.3.2 Modelo de (Bayless & Abrahamson, 2019)

El modelo de (Bayless & Abrahamson, 2019), BA19 para simplificar, es un modelo para EAS (*Effective Amplitude Spectrum*, de sus siglas en inglés), que tal como se ve en la ecuación (2.8), se refiere a un espectro de Fourier efectivo de las dos componentes horizontales. La amplitud resultante es compatible con el uso de la teoría de vibración aleatoria (RVT, de sus siglas en inglés) para usarse como espectro de diseño.

$$EAS(f) = \sqrt{\frac{1}{2} (FAS_{HC1}(f)^2 + FAS_{HC2}(f)^2)} \quad (2.8)$$

La base de datos de (Bayless & Abrahamson, 2019) consta, en un principio, de 21.000 registros de las tres componentes, (es decir, Horizontal NS, Horizontal WE y Vertical), de registros de todo el mundo (principalmente de Japón, Taiwán y otros) provista por PEER (*Pacific Earthquake Engineering*

Research Center). La base de datos tiene un rango de magnitudes entre 3 a 7.9 y un rango de distancias a la ruptura de hasta 1500 km. Luego, Se usó unos límites de frecuencias para el filtrado, para la frecuencia usable más baja (LUF, de sus siglas en inglés) de 1.25 veces el máximo de las frecuencias de filtro pasa altas de ambas componentes, por otra parte, la frecuencia usable más grande (HUF, de sus siglas en inglés) de 0.8 veces el mínimo de las frecuencias de filtro pasa bajas de ambas componentes. Luego, se revisó la calidad, la distancia a la que se encuentra de su estación, los requerimientos mínimos de las estaciones y las limitaciones de frecuencia, se obtiene un grupo de datos de 13.346 registros únicos correspondientes a 232 eventos.

El modelo de EAS está dado por la ecuación (2.9)

$$\ln EAS = \ln EAS_{med} + \varepsilon\sigma \quad (2.9)$$

Donde σ corresponde a la variabilidad aleatoria total, y ε corresponde al número de desviaciones estándar por sobre o debajo de la media. La estimación del EAS medio puede ser calculada según la ecuación (2.10).

$$\ln EAS_{med} = f_M + f_P + f_S + f_{Z_{tor}} + f_{NM} + f_{Z_1} \quad (2.10)$$

Donde cada componente corresponde a un escalamiento para Magnitud (f_M), Trayectoria (f_P), Respuesta de sitio (f_S), Profundidad a la parte superior de la ruptura ($f_{Z_{tor}}$), Estilo de falla (f_{NM}) y profundidad de sedimento (f_{Z_1}). El escalamiento para la magnitud trata de capturar el efecto de la energía irradiada desde la fuente. Su formulación es la siguiente.

$$f_M = c_1 + c_2(M - 6) + \frac{(c_2 - c_3)}{c_n} \ln(1 + e^{c_n(c_M - M)}) \quad (2.11)$$

Esta componente captura un escalamiento aproximadamente lineal para la magnitud en bajas frecuencias (es decir, bajo la frecuencia esquina) y para altas frecuencias, con una transición no lineal entre ella. Los coeficientes c_1 y c_2 representan el escalamiento lineal, donde c_1 corresponde al intercepto y c_2 a la pendiente. Además, el termino $(c_2 - c_3)/c_n$ captura la transición no lineal ya

mencionada. El coeficiente c_n controla el rango de magnitudes entre las cuales existe la transición no lineal. Finalmente c_M es la magnitud en el medio de la transición entre altas y bajas frecuencias.

El escalamiento de trayectoria depende principalmente de la distancia a la ruptura R_{rup} y la magnitud. Su forma funcional corresponde a la ecuación (2.12).

$$f_p = c_4 \ln \left(R_{rup} + c_5 \cosh (c_6 \max (M - c_{hm}, 0)) \right) + (-0.5 - c_4) \ln(\hat{R}) + c_7 R_{rup} \quad (2.12)$$

En donde \hat{R} corresponde a $\sqrt{R_{rup}^2 + 50^2}$. Luego, el coeficiente c_4 es el coeficiente que captura la dispersión geométrica cercana a la fuente, el cual es dependiente tanto de la frecuencia como de la magnitud (M). La dependencia de la magnitud y frecuencia con la dispersión geométrica es capturada con el termino referente a la distancia de la ruptura c_5 , capturando así los efectos de saturación cercanos a la fuente por los efectos de las dimensiones de la ruptura de falla finita, este término es dependiente de la frecuencia para pequeñas magnitudes y su transición es proporcional a $\exp(M)$ para grandes magnitudes, junto con c_6 y c_{hm} controlan el escalamiento y el gradiente del coseno hiperbólico.

La respuesta de sitio es dependiente de las ondas de corte a los 30 m de profundidad (V_{s30}), su formulación en el modelo corresponde a:

$$f_s = f_{SL} + f_{NL} \quad (2.13)$$

Donde se diferencia entre el componte lineal de la respuesta de sitio (f_{SL}) y el componente no lineal (f_{NL}). Se definen estas componentes en las ecuaciones (2.14) y (2.15).

$$f_{SL} = c_8 \ln \left(\frac{\min(V_{s30}, 1000)}{1000} \right) \quad (2.14)$$

$$f_{NL} = f_2 \ln \left(\frac{I_R + f_3}{f_3} \right) \quad (2.15)$$

$$f_2 = f_4 \left(e^{f_5(\min(V_{s30}, V_{ref}) - 360)} - e^{f_5(V_{ref} - 360)} \right) \quad (2.16)$$

$$\ln(I_R) = 1.238 + 0.846 \ln(EAS_{ref}(f = 5Hz)) \quad (2.17)$$

La componente lineal es dependiente de V_{S30} , centrada para un valor de referencia de $V_{S30} = 1000$ m/s. Con un V_{S30} bajo los 1000 m/s la amplificación de sitio se puede capturar con un único coeficiente dependiente de la frecuencia (c_8). Por otra parte, en la ecuación (2.16), el coeficiente f_2 es obtenido de una implementación suavizada del modelo de (Hashash et al., 2018) y modificada para obtener efectos no lineales en el rango de frecuencias.

La amplificación de sitio no lineal está restringida utilizando un modelo puramente analítico en lugar de obtenerlo de los datos. Las valoraciones empíricas de los efectos no lineales están limitadas por el muestreo relativamente escaso de los movimientos del suelo, que se espera estén en el rango no lineal. Luego, la amplificación no lineal de (Hashash et al., 2018) fue adoptada. Se usó el *software* de respuesta de sitio DEEPSOIL para realizar un gran número de simulaciones (30.000+) de respuesta de sitio unidimensional para columnas de suelo representativos de las condiciones del oeste de Estados Unidos. El análisis no lineal de (Hashash et al., 2018) se lleva a cabo en el dominio del tiempo usando integración implícita de las ecuaciones de movimiento. Se produjeron amplificaciones de sitio lineales y no lineales, tanto para PSA (Pseudo-aceleraciones) y FAS, de las que solo se adoptaron las no lineales de FAS. En las ecuaciones (2.16) y (2.17) los coeficientes f_3 , f_4 y f_5 son dependientes de la frecuencia. Por otra parte, I_R corresponde a la aceleración máxima del suelo (PGA, en unidades g) en roca.

La ecuación (2.18) muestra el escalamiento de profundidad a la parte superior de la ruptura. El modelo de este parámetro consta del mínimo entre 20 km y la profundidad hasta la parte superior de la ruptura.

$$f_{Z_{tor}} = c_9 \min(Z_{tor}, 20) \quad (2.18)$$

En donde c_9 es el termino dependiente de la frecuencia y Z_{tor} es la profundidad hasta la parte superior de la ruptura. El escalamiento de Z_{tor} es cortado a los 20km, para prevenir un escalado ilimitado de Z_{tor} .

El escalamiento de los efectos del estilo de falla normal f_{NM} consta de un parámetro (c_{10}) y una variable binaria, que toma 1 cuando es una falla de tipo normal y 0 para cualquier otro caso (F_{NM}), tal como se puede observar en la ecuación (2.19).

$$f_{NM} = c_{10}F_{NM} \quad (2.19)$$

c_{10} es determinado en la regresión. Según los autores una falla normal tiene el ángulo *rake* entre -150° y -30°. El estilo de falla reversa es considerado en términos del ángulo *rake* entre 30° y 150°, pero no fue considerado en la ecuación (2.19) porque el término está altamente correlacionado con Z_{tor} . Además, el estilo de falla reversa es capturado por el escalamiento de f_{Ztor} .

El escalamiento de la profundidad del suelo f_{Z1} corresponde al espesor de los sedimentos. La formulación fue adoptada de (Abrahamson et al., 2014) en la cual se parametrizó con la profundidad en donde se cumple que la velocidad de ondas de corte es de 1.0 km/s (Z_1), tal como se observa en la ecuación (2.18).

$$f_{Z1} = c_{11} \ln \left(\frac{\min(Z_1, 2.0) + 0.01}{Z_{1Ref} + 0.001} \right) \quad (2.20)$$

En donde c_{11} depende del rango en el que se encuentre V_{S30} , y Z_{1Ref} es la referencia de Z_1 basado en V_{S30} para el modelo regional de California. c_{11} y Z_{1Ref} quedan definidos tal como se muestra en las ecuaciones (2.21) y (2.22).

$$c_{11} = \begin{cases} c_{11a} & \text{para } V_{S30} \leq 200 \text{ m/s} \\ c_{11b} & \text{para } 200 < V_{S30} \leq 300 \text{ m/s} \\ c_{11c} & \text{para } 300 < V_{S30} \leq 500 \text{ m/s} \\ c_{11d} & \text{para } V_{S30} > 500 \text{ m/s} \end{cases} \quad (2.21)$$

$$Z_{1Ref} = \frac{1}{1000} \exp \left(\frac{-7.67}{4} \ln \left(\frac{V_{S30}^4 + 610^4}{1360^4 + 610^4} \right) \right) \quad (2.22)$$

Cada coeficiente fue determinado mediante una regresión, la que, para evitar sobresaturar el modelo, fue hecha por etapas. Luego se realiza el análisis de residuales tanto entre eventos, inter-eventos y sitio a sitio.

Además, los autores realizan una extrapolación de su modelo a frecuencias altas, más allá de las frecuencias hasta 24 Hz. Para frecuencias altas, la amplitud del FAS, y por consiguiente del EAS, disminuye rápidamente, y de forma lineal para el $\log(FAS)$ versus la frecuencia, kappa (κ) corresponde a la pendiente de este decaimiento. Los autores extrapolan los valores de EAS hasta 100 Hz con las siguientes ecuaciones.

$$D(\kappa, f) = \exp(-\pi\kappa f) \quad (2.23)$$

$$\ln(\kappa) = -0.4 \times \ln\left(\frac{V_{S30}}{760}\right) - 3.5 \quad (2.24)$$

$$EAS(f > 24) = EAS(f = 24) \times D(\kappa, f - 24) \quad (2.25)$$

En donde $D(\kappa, f)$ corresponde a el operador de disminución. En la ecuación (2.24) se observa una relación para obtener kappa basado en V_{S30} . Luego, la ecuación (2.25) describe la incorporación de κ para obtener el decaimiento del EAS sobre los 24 Hz.

2.4 Conclusiones

En este capítulo se revisaron los fundamentos físicos detrás del modelamiento de las amplitudes de Fourier. En primer lugar, se revisó brevemente la definición de la transformada de Fourier para una traza de aceleración. Luego, se detalló el desarrollo de dos GMPE para modelar las amplitudes de Fourier, ambos se diferencian principalmente en la forma funcional y en la base de datos considerada. El modelo B19 se basa principalmente en escalamientos de magnitud y de distancia y por otra parte el modelo BA19 toma más componentes (es decir, magnitud, trayectoria, efectos de sitio, etc.). Por otra parte, ambas bases de datos se diferencian en el rango de magnitudes que abarcan, ya que en zonas pan-europeas tienen una sismicidad reducida en comparación a la zona Este de Estados Unidos y el resto de países con entornos de subducción (por ejemplo, Japón).

CAPÍTULO 3 BASE DE DATOS

3.1 Introducción

Para realizar la regresión y obtener los coeficientes, es necesario tener una base de datos de registros sísmicos (es decir, Registros de aceleración). Estos registros fueron obtenidos de la base de datos del CSN. También, junto con los registros de aceleración, se debe tener los datos de su localización temporal y espacial. En el 0, precisamente en la Figura A. 3.1.1 se puede observar la distribución de estos registros entre los años 2012 a 2021.

Para las estaciones se obtienen los datos de su localización espacial, V_{S30} , elevación y f_0 (frecuencia fundamental del suelo). Además, se realizó una estimación de la frecuencia natural del suelo (f_0) utilizando los registros de aceleración, para las estaciones no disponibles en los datos publicados por el CSN.

Por otra parte, se obtiene información sobre los eventos, correspondiente a su localización temporal y espacial como ya fue nombrado. Además, se recopiló información relacionada al mecanismo de falla, esto para poder determinar las dimensiones (es decir, ancho y largo de la falla), lo cual es relevante para determinar las distancias entre fuente y estación.

En este capítulo se detalla cómo se generó la base de datos y también los criterios para seleccionar los registros que componen dicha base de datos.

3.2 Base de datos de los eventos sísmicos

A continuación, se describe el procedimiento por el cual se obtienen la base de datos, tanto para las estaciones, eventos y registros. Esta base de datos se encuentra resumida a modo de tabla en el Anexo 3.2

3.2.1 Obtención de los datos correspondiente a los eventos.

Como ya fue nombrado, para los eventos se obtiene la información referente a su magnitud, localización temporal, (es decir, Año, mes, día, hora, minuto y segundo); localización espacial, longitud, latitud y profundidad focal. Esta información fue obtenida directamente de la base de datos de CSN.

Por otra parte, la información referente al mecanismo de falla, es decir, los ángulos *dip*, *rake* y *strike*; se recurre al catálogo de Harvard (CMT). Para relacionar que ángulos le corresponden a cada evento se revisó la fecha y hora de cada registro y se comparó con la información de CMT.

Los registros de aceleración disponibles en el CSN son 13.129 para las tres componentes espaciales (es decir, horizontal Norte-Sur, horizontal Este-Oeste y Vertical) contenidos en los años 2012 a 2022, y con un rango de magnitud de 3 y 8.4. Sin embargo, no todos estos registros forman parte de la base de datos final puesto que, luego del filtrado, algunos no cumplen con la razón ruido-señal mínima (*Signal to Noise Ratio*; SNR de sus siglas en inglés) esto es, con un $SNR > 3$. Además de otras consideraciones que se detallarán más adelante.

La base de datos final se compone por 4.135 registros de 789 eventos entre los años 2012 a 2021, estos registros fueron obtenidos de 184 estaciones concentradas principalmente en las macrozonas Norte, Centro, Centro sur y Sur del país.

3.2.2 Determinación de la sismogénesis del evento sísmico.

Para determinar la sismogénesis, se siguió la metodología usada en (Bastías & Montalva, 2016) la cual relaciona los ángulos del momento tensor con el estilo de falla y por consecuencia el entorno sísmico del evento. Por otra parte, para los eventos que no cuentan con información en el catálogo CMT se usó la metodología descrita en (Montalva et al., 2022) en la que para eventos con profundidades mayores a 50 km se considera interplaca y para eventos con profundidades menores a 50 km se considera intraplaca. En la Figura 3.1 se puede observar los eventos de la base de datos clasificados según sismogénesis.

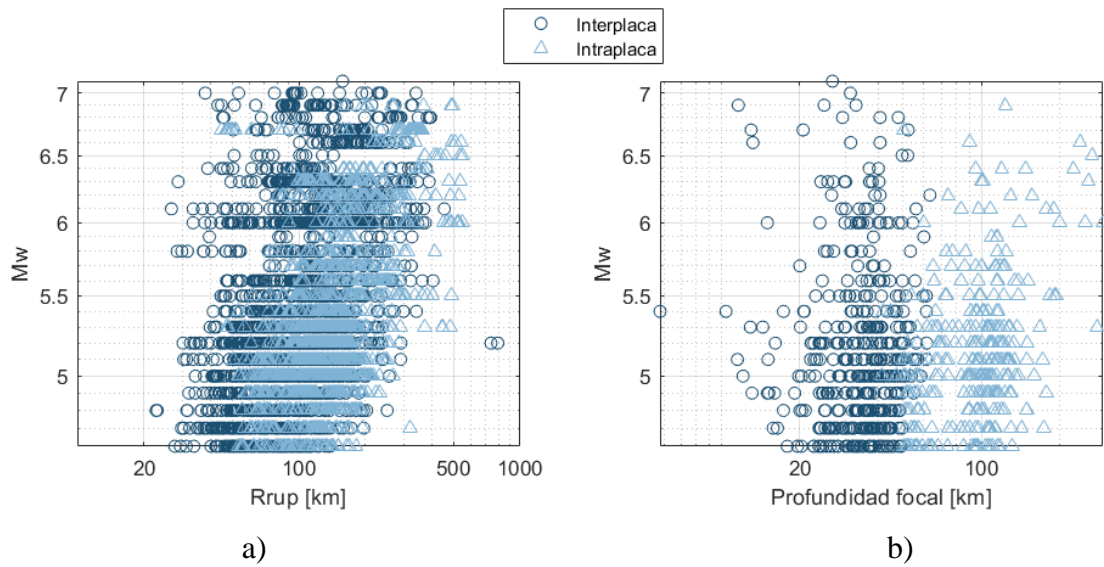


Figura 3.1 a) Eventos interplaca e Intraplaca según su magnitud y distancia a la ruptura [km]. b) Eventos Interplaca e Intraplaca según su magnitud y profundidad focal [km]

3.2.3 Estimación de los planos de falla de los eventos sísmicos.

Un plano de falla es un plano finito en el espacio, en el cual la corteza terrestre a ambos lados de éste tiende a desplazarse, produciendo así el movimiento sísmico. En la Figura 3.2 se puede observar el plano de falla y los ángulos que describen este plano.

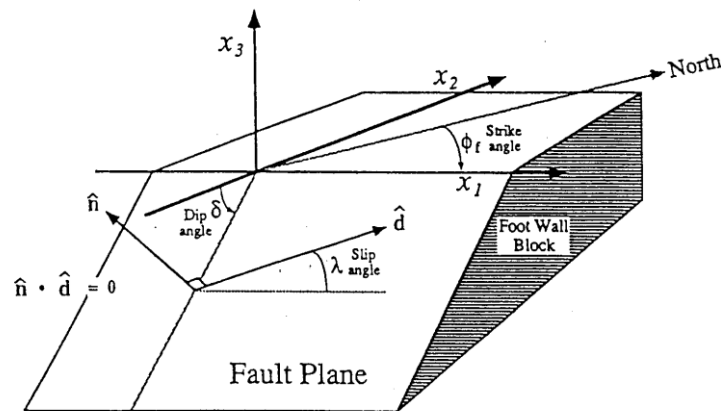


Figura 3.2 Plano de falla con los ángulos de inclinación, rumbo y deslizamiento (*dip*, *strike* y *slip* respectivamente).

La ubicación del hipocentro se asumió como el centroide del plano de falla. Las dimensiones de este plano de falla fueron determinadas por una relación empírica, la cual relaciona la magnitud con el ancho y el largo.

Dependiendo el tipo de evento, y dada su magnitud, el plano de falla pudo ser considerado como puntual o de área. Los criterios usados para determinar las dimensiones del plano de falla son los que se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Criterio para determinar las dimensiones del plano de falla

Tipo de Sismicidad.	M_w	Modelo.
Interplaca.	Ente 5.59 y 7.69	Thingbaijam, Mai, y Goda 2017
	Menor a 5.59	Puntual.
Intraplaca.	Entre 5.86 y 8.39	Thingbaijam, Mai, y Goda 2017
	Menor a 5.59	Puntual.
Cortical.	Entre 5.7 y 8.7	Thingbaijam, Mai, y Goda 2017
	Menor a 5.7	Puntual.

3.2.4 Base de datos de los registros

En primera instancia, la base de datos se compone de los registros de aceleración disponibles en el Centro Sismológico Nacional (CSN) que abarcan los eventos significativos entre los años 2012 a 2021. Estas trazas de aceleración corresponden a las dos componentes horizontales para cada registro, siendo un total de 8.270. Se descartaron eventos con magnitudes inferiores a 4.7 y superiores a 7.1, además eventos con una distancia a la ruptura superiores a 800km, tal como muestra la Figura 3.1.

3.3 Procesamiento de registros sísmicos

Los registros fueron procesados siguiendo la metodología ya nombrada, la cual se aplica a cada componente horizontal. En primer lugar, se obtienen los 4.135 registros de aceleración de cada componente. Seguidamente, se necesitan las ventanas de los tipos de onda, identificando las ondas de Ruido, ondas P, ondas S y la ventana de Coda.

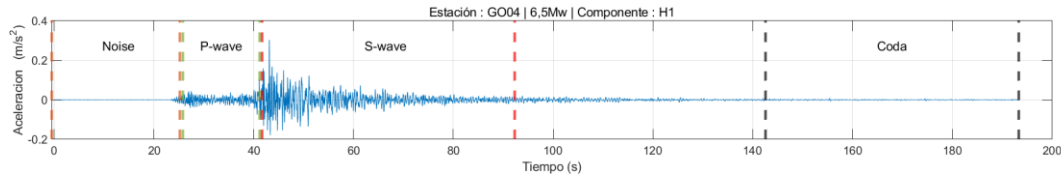


Figura 3.3 Esquema con las diferentes ventanas de un registro sísmico.

El tiempo de arribo de la onda P (t_p) y onda S (t_s) fueron obtenidos usando las funciones del software Matlab de (Kalkan, 2016) y (Erol Kalkan, 2022). Luego, el final de la onda S (t_{s-fin}) corresponde al 80% del CAV (*Cumulative Absolute Velocity*, según sus siglas en inglés) de la traza de aceleración (Bastías & Montalva, 2016). Se obtiene la duración de la onda S ($D_s = t_{s-fin} - t_s$).

Posteriormente se obtienen las duraciones de las demás ventanas, el tiempo de inicio de la ventana de ruido (t_N) se define como el máximo entre el tiempo de inicio del registro y la diferencia entre tiempo de arribo de la onda P (t_p) y la duración de la onda S ($t_N = \max(0, t_p - D_s)$). Entretanto, el tiempo final de la ventana de coda corresponde al mínimo entre la duración del final del registro (t_{END}) y el inicio de la onda S más tres veces su duración ($t_{c-fin} = \min(t_{END}, t_s + 3D_s)$). Por último el comienzo de la ventana de coda (t_c) corresponde al máximo entre el fin de la onda S y la diferencia entre el fin de la ventana de coda y la duración de la onda S, resultando ($t_c = \max(t_{s-fin}, t_{c-fin} - D_s)$).

Para el proceso de filtrado es importante aplicar un filtro acausal pasabanda del tipo *Butterworth* de 4-polos en el dominio de la frecuencia. Para aplicar dicho filtro se necesita obtener tanto la frecuencia de corte mínima como la frecuencia de corte máxima, con el fin de eliminar parte de la señal que pudiera estar contaminada con ruido tanto en periodos bajos como en periodos altos.

La frecuencia de corte mínima fue obtenida mediante SNR. Luego, de obtener las ventanas de las ondas (Ruido, P, S y Coda) como la razón entre el espectro de Fourier de la onda de ruido y el espectro

de Fourier de la onda S, ambos espectros fueron suavizados mediante el filtro de (Konno & Ohmachi, 1995) con el parámetro 'b' igual a 20. La razón entre estos espectros (onda S y onda de Ruido) se obtienen para un rango de frecuencias que tiene como máximo la frecuencia de Nyquist, la cual corresponde a la mitad de la frecuencia de muestreo, el SNR debe ser mayor a 3 para asegurar que la onda S domine por sobre el ruido en el registro.

Luego el proceso de los registros de aceleración consiste en remover la media de esta traza sin corregir. A continuación, se aplica un taper de coseno del 5% tanto al principio como al final de la traza de aceleración para asegurar que el comienzo y el final del registro sea 0. Para obtener mejores resultados al aplicar el filtro se aplicó unas 'almohadillas' (*zero pad*, en inglés) tanto al comienzo como al final. Se aplica un filtro Butterworth en el espectro de Fourier tanto para las frecuencias de corte mínima y máxima. Una vez filtrado, se puede obtener la traza de desplazamiento integrando dos veces. A la traza de desplazamiento resultante se le ajustó un polinomio de grado 6, donde la constante del primer término es igual a 0. Se resta la segunda derivada del polinomio con la aceleración para así quitar la tendencia de la aceleración, asegurando que el desplazamiento quede libre de desplazamientos anormales no asociados al evento sísmico. Para verificar que el filtrado es correcto se revisó visualmente las trazas de desplazamiento, revisando que estas tengan sentido físico (es decir, desplazamiento inicial y final igual a 0 m, además de estar visualmente centrada en la ordenada igual a 0).

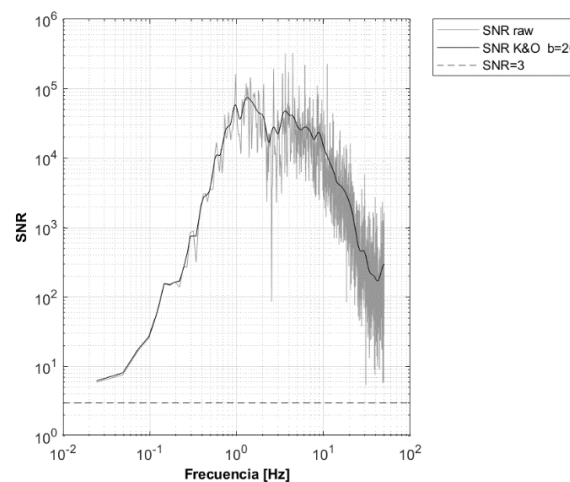


Figura 3.4 Razón ruido señal (SNR) de un registro de aceleración

En la Figura 3.5 se muestra la diferencia entre la traza de desplazamiento sin filtrar y la traza de desplazamiento filtrada. A simple vista se puede observar cómo la traza de desplazamiento se encuentra centrada en la ordenada igual a 0. Esto quiere decir que el registro de aceleración fue filtrado satisfactoriamente.

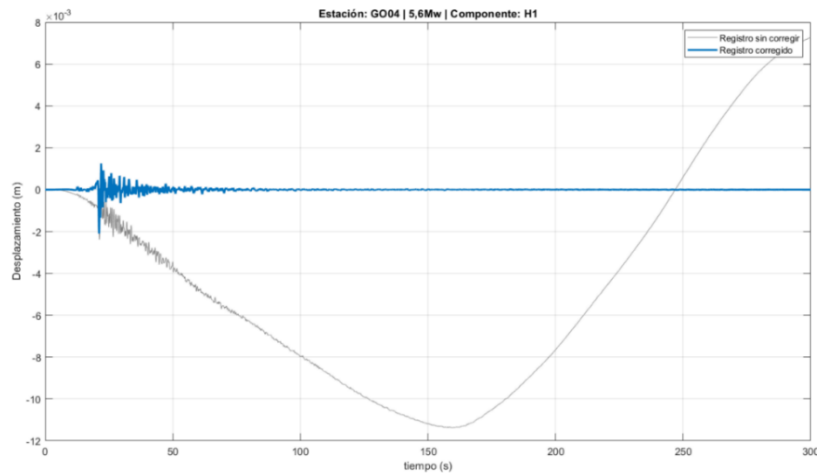


Figura 3.5 Comparación de un registro sin corregir (gris) y un registro corregido (azul)

Finalmente se guardan los FAS de cada registro horizontal. En la Figura A. 3.3.1, del ANEXO 3.3 se observa el diagrama de flujo para el filtrado de los registros de aceleración.

Luego del proceso se obtuvieron las amplitudes de Fourier de cada registro de aceleración siendo un total de 8.314 espectros de Amplitudes de Fourier, los cuales corresponden a 4.157 espectros de Amplitudes de Fourier Efectivos (EAS). El rango de frecuencias en el que se distribuyen estos datos se encuentra entre 0.01 a 50 Hz, y algunos eventos con un rango mayor entre 0.01 a 100Hz. Esto debido a la frecuencia de muestreo de las estaciones.

3.4 Base de datos final

Tal como se comentó en los incisos anteriores, los registros obtenidos se limitaron respecto a sus magnitudes abarcando un rango entre 4,6 a 7,1. Esto para evitar considerar en la regresión eventos muy pequeños y mega eventos, también se limitó la distancia a la ruptura (R_{RUP}) considerando solo

los eventos con un R_{RUP} menor a 800 km, de estos eventos se obtienen una base de datos de 4.157 registros de 794 eventos entre los años 2012 a 2021. Estos registros fueron obtenidos de 185 estaciones. Además, se cuenta con los EAS para cada registro. En la Figura A. 3.4.1 del ANEXO 3.4. se puede ver la disposición de los eventos de la base de datos final.

3.5 Conclusiones

Es importante tener una base de datos completa para poder efectuar las regresiones del modelo de FAS. En este capítulo se mostró cómo se obtienen la base de datos tanto para los eventos y estaciones. Esta base de datos contempla 4.157 registros de 794 eventos entre los años 2012 y 2021.

Para el modelo de EAS, es necesario caracterizar los eventos según los efectos producidos por la fuente, trayectoria, sitio y magnitud. Por este motivo, la base de datos contempla la obtención de las variables explicativas (es decir, magnitud, R_{RUP} , V_{S30} , f_0 , etc.) de los efectos anteriormente nombrados. Estas variables explicativas fueron obtenidas mediante la recopilación de los datos provistos tanto por el CSN y CMT, como también mediante estimaciones empíricas (por ejemplo, R_{RUP} , f_0).

El procesamiento de los registros sísmicos tiene como propósito eliminar parte del ruido ambiental que no corresponde a las ondas del evento sísmico, obteniendo así información confiable para la regresión. Los registros fueron procesados obteniendo los resultados deseados.

CAPÍTULO 4 FORMA FUNCIONAL Y METODOLOGÍA DE LA REGRESIÓN

4.1 Introducción

Una vez obtenida la base de datos de los registros y sus metadatos se debe definir una forma funcional para el modelo. Parte importante de la forma funcional es capturar de forma coherente el fenómeno que se busca modelar mediante las variables explicativas y la obtención de los coeficientes. En este capítulo se detalla la forma funcional usada para modelar las amplitudes de Fourier y la metodología de la regresión. En el ANEXO 4.1 se describe con mayor detalle el modelamiento de residuales y la forma funcional.

4.2 Forma funcional y modelamiento de los residuales

4.2.1 Forma funcional de la mediana del modelo de EAS

La forma funcional para modelar las amplitudes de Fourier efectivas (EAS) está principalmente basada en el modelo BA19. La forma funcional que se utilizó para modelar el EAS corresponde a la ecuación (4.1) donde puede ser segregada para un mayor entendimiento de cada componente. Los efectos que captura este modelo son respecto a la Magnitud, trayectoria y sitio.

$$\ln EAS = f_M + f_P + f_S \quad (4.1)$$

Donde cada escalamiento corresponde a:

$$f_M = c_1 + c_2(M - 6) + c_3(M - 6)^2 \quad (4.2)$$

$$f_P = (c_4 + c_5 F_{event} + c_6 M) \ln(R_{rup}) + c_7 R_{rup} \quad (4.3)$$

$$f_s = c_8 \ln \left(\frac{\min(V_{s30}, 2000)}{2000} \right) \quad (4.4)$$

F_{event} corresponde a una variable binaria con valor 1 cuando los sismos son Intraplaca y 0 cuando son sismos Interplaca.

El modelo propuesto se diferencia del modelo BA19 ya que simplifica la componente asociada al efecto respecto a la magnitud. Además, considera el efecto diferenciado respecto a la sismogénesis del evento con la variable F_{event} . Por otra parte, se aumentó el umbral para considerar efectos con V_{s30} mayores a 1000 m/s, considerando así hasta los 2000 m/s.

Para esta base de datos, dado la distribución de la cantidad de registros según su magnitud (Figura 3.1), solo se considera la componente lineal del escalamiento del sitio.

En la Figura 4.1 se puede observar el comportamiento del modelo según magnitud.

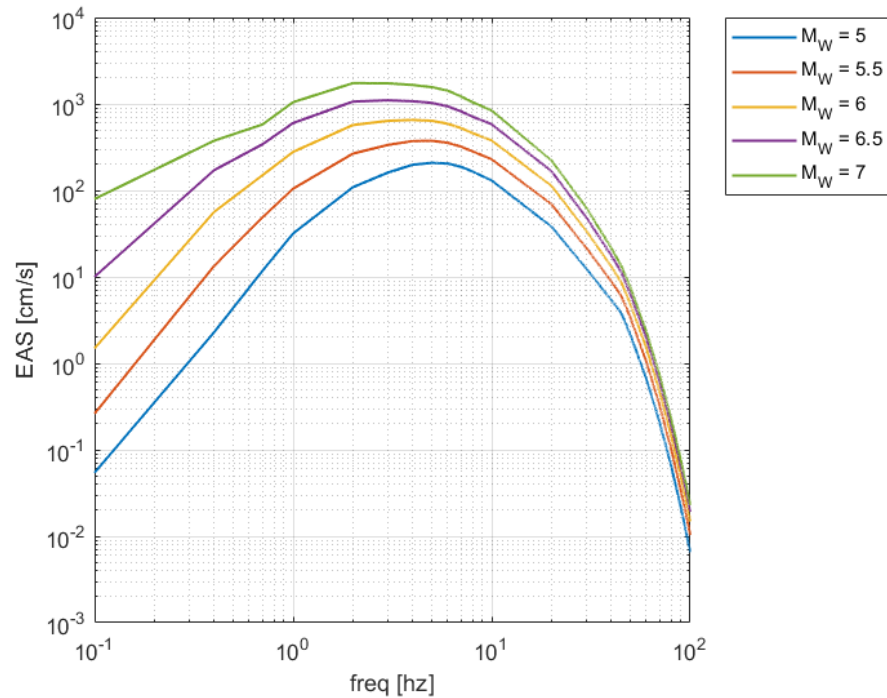


Figura 4.1 modelo EAS según magnitud, $R_{RUP} = 200$ km $V_{s30} = 300$ m/s

4.2.2 Modelamiento de los residuales

El modelamiento de residuales en los modelos de movimientos de suelo sísmicos implica evaluar cómo el modelo se ajusta a los datos. Los residuales (Δ) son las diferencias entre los valores observados (EAS_{obs}) y los predichos por el modelo (EAS_{pred}), estos reflejan la parte del fenómeno que no es explicada por el modelo. Para entender mejor la dispersión en los resultados de la regresión, es esencial considerar la distribución de los residuales. Así, se puede mejorar la precisión del modelo. El error total puede ser segregado según las componentes interevento (en inglés, *Between-event residual*) δB_e y el error intraevento (en inglés, *Within-event*) δW_{es} , tal como fue ilustrado por (Al Atik et al., 2010).

4.3 Metodología de regresión.

En la modelación de fenómenos sísmicos, diferentes metodologías de regresión han sido utilizadas. Por ejemplo, el método de mínimos cuadrados ordinarios, mínimos cuadrados ponderados y el método de dos pasos. Actualmente el uso de la inferencia bayesiana se ha vuelto popular debido a que permite una mejor gestión de la incertidumbre en los datos y la inclusión de información previa o conocimiento experto sobre el fenómeno estudiado, mejorando la calidad de las predicciones.

La inferencia bayesiana utiliza el teorema de Bayes, el cual actualiza las creencias o probabilidades previas sobre un evento dado cuando se tiene nueva información. El *Prior* corresponde a la distribución a priori de los coeficientes, representando la incertidumbre que se tiene del valor de ese coeficiente; el *Likelihood* se refiere a la probabilidad de observar los datos dada una configuración particular de los parámetros del modelo; y el *Posterior* se refiere a la distribución de probabilidad que se obtiene después de incorporar la información de los datos a través del teorema de Bayes.

En conclusión, el uso de la inferencia bayesiana en la regresión de coeficientes para modelos sísmicos puede mejorar significativamente la capacidad de predicción de los terremotos y permite mejorar los modelos a medida que se obtiene más y mejor evidencia.

4.4 Conclusiones

En este capítulo se revisó la forma funcional, el modelamiento de los residuales y la metodología de la regresión. La forma funcional fue propuesta para captar las amplitudes de Fourier de la onda sísmica. El modelo propuesto se basó principalmente en el modelo BA19, porque cuenta con la ventaja de usar una base de datos de varios países de distintos entornos tectónicos y considera efectos como la direccionalidad del registro al usar EAS en lugar de FAS.

El modelamiento de residuales se basa principalmente en estimar cuanto difiere el modelo de los datos observados, considerando el error epistémico (es decir, residuales intra evento e inter evento) en el modelamiento de GMPE.

La metodología de la regresión corresponde a la obtención de los coeficientes mediante inferencia Bayesiana usando la librería STAN (Stan Development Team, 2020) del *software* estadístico ‘R’ (R Core Team, 2021). El uso de STAN trae consigo varias ventajas, entre esas, la rápida implementación del modelo; la implementación simple del modelamiento de residuales; y que es posible actualizar los coeficientes teniendo en cuenta la nueva evidencia. Los detalles del uso de STAN se encuentran en el inciso 5.2.

CAPÍTULO 5 MODELO DE AMPLITUDES DE FOURIER PARA CHILE

5.1 Introducción

Una vez definida la forma funcional para el modelo del EAS, la metodología de la regresión y los datos observados del movimiento sísmico, se obtienen los coeficientes que componen el modelo predictivo para las amplitudes de Fourier.

En este capítulo se detalla la metodología usada en la obtención de dichos coeficientes y el análisis de residuales. Finalmente, se compara el modelo ajustado para Chile con otros modelos disponibles en la literatura. En la Tabla A. 5.1.1 del ANEXO 5.1 se pueden observar los coeficientes obtenidos mediante la regresión.

5.2 Modelo predictivo de Amplitudes de Fourier

De la base de datos descrita en el capítulo 3, se realiza la regresión considerando lo expuesto en el capítulo 4. Cabe resaltar, que los datos para cada frecuencia pueden variar dependiendo de la frecuencia de corte para altas frecuencias del registro sísmico, generando una menor representación para las frecuencias por sobre los 50 Hz. Por esta razón se realiza la regresión hasta los 45 Hz. Luego, los valores espectrales se extrapolaron hasta los 100 Hz.

El EAS de cada registro fue suavizado con una ventana (Konno & Ohmachi, 1995) con el parámetro $b=20$. Luego, se tomaron los valores, tal como se observa en la Tabla A. 5.1.1 del ANEXO 5.1, entre 0.1 a 45 Hz. Por otra parte, mediante el *software* Rstudio se implementó un *script* que toma los valores del EAS, los metadatos obtenidos para cada registro y estación, los ordena en una variable del tipo *dataframe* para posteriormente ingresar esta información a STAN. En STAN se define cada variable del modelo y sus distribuciones. El diagrama de flujo que explica gráficamente la interacción entre Rstudio, STAN y la base de datos se encuentra en la Figura A. 5.2.1 del ANEXO 5.2.

Como fue mencionado, en STAN se definieron las distribuciones de los coeficientes, en este caso consiste en un *prior* poco informativo, de igual forma para el *prior* de las desviaciones estándar.

Para este trabajo se considera como supuesto que los valores de cada coeficiente son independientes para cada frecuencia, sin embargo, esto no necesariamente se cumple, pudiendo existir una correlación interfrecuencia entre los coeficientes.

5.2.1 Extrapolación a 100 Hz.

Tal como en el modelo de BA19, se consideró una extrapolación basada en kappa para el modelo del EAS sobre hasta los 100 Hz. En este caso corresponde a las frecuencias sobre los 45 Hz. Esta extrapolación corresponde a lo mostrado por la siguiente ecuación.

$$D(\kappa, f) = \exp(-\pi\kappa f) \quad (5.1)$$

En donde $D(\kappa, f)$ corresponde a el operador de disminución basado en κ , descrito en el modelo BA19. Para estimar kappa se utilizó el aporte de (Pozo et al., 2023) , donde se relaciona f_0 con kappa. De esta forma, para obtener kappa basado en f_0 se utilizó la siguiente ecuación.

$$\log(\kappa_0) = -0.2233 \log(f_0) - 2.9010 \quad (5.2)$$

De esta forma es posible considerar el decaimiento sobre los 45 Hz. En la ecuación (5.3), se puede observar el decaimiento los valores para EAS basados en κ para altas frecuencias.

$$EAS(f > 45Hz) = EAS(f = 45Hz)D(\kappa, f - 45Hz) \quad (5.3)$$

5.2.2 *Supple* en f_0 .

Físicamente, los EAS de los registros tienen un *Peak* en su amplitud en la frecuencia natural del suelo (es decir, frecuencia de resonancia). Para incorporar el efecto de la resonancia en f_0 , se agrega un *supple* en un rango cercano a esa frecuencia (f_0), con valor máximo en f_0 . Se consideró luego de una inspección visual de los EAS, que la amplificación producida por f_0 tiene mayor relevancia entre los 0.5 a 10 Hz. Por otra parte, el *supple* consiste en una multiplicación del EAS por una función ventana, con dicha función centrada en f_0 , en este caso se consideró una función coseno, con valor mínimo 1 y valor máximo el valor mediano de la amplitud EAS deseada en f_0 . En la siguiente ecuación, se puede observar la función ventana que aplica el *supple* en f_0 .

$$W_1(f) = \begin{cases} 1; f_1 < f \\ 0.5 \left(\cos\left(\frac{(f - f_0)\pi}{N}\right) + 1 \right) (A_{supple} - 1) + 1; f_1 \leq f \leq f_2 \\ 1; f \leq f_2 \end{cases} \quad (5.4)$$

Donde f_1 y f_2 corresponden a las frecuencias de borde, dentro del intervalo entre ambas frecuencias de borde, la venta W toma valores mayores a 1. f_1 y f_2 quedan definidos de la siguiente forma.

$$f_1 = f_0 - N \quad (5.5)$$

$$f_2 = f_0 + N \quad (5.6)$$

En donde N corresponde al ancho medio del intervalo entre f_1 y f_2 , se consideró para este caso como:

$$N = \begin{cases} f_0 - 0.01; f_0 \leq 1.5 \text{ Hz.} \\ 1.5 \text{ Hz}; f_0 > 1.5 \text{ Hz.} \end{cases} \quad (5.7)$$

Para la obtención de la amplitud del *supple* (A_{supple}), se obtienen el residual entre el modelo del EAS y los datos observados. Este residual fue obtenido para f_0 entre 0.5 a 10 Hz. Luego, se obtienen el valor de la media móvil mediante un ajuste *lowess* considerando el 20% de intervalo. Finalmente, A_{supple} fue obtenido para el intervalo de frecuencias ya nombrado y fue agregado al modelo del EAS propuesto.

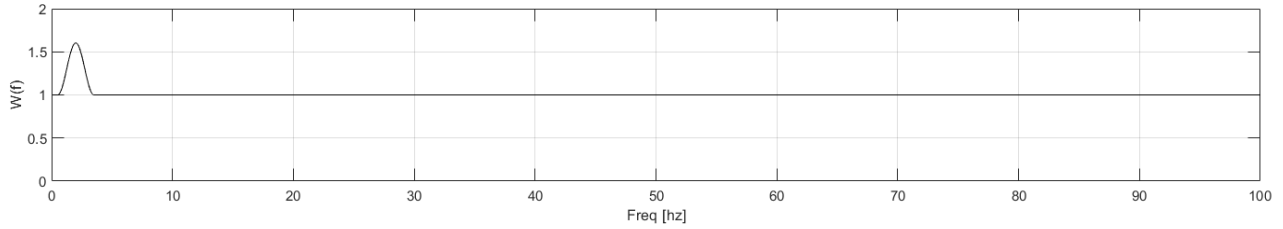


Figura 5.1 Función ventana descrita en la ecuación (5.4), $f_0 = 2$ Hz.

5.2.3 Decaimiento a 50 Hz.

Considerando que algunos instrumentos usados para obtener los registros de aceleración tienen una frecuencia de muestreo de 100 muestras/seg. Los EAS observados por estos instrumentos tienen una caída pronunciada a los 50 Hz. Para incluir el efecto del decaimiento en esas frecuencias, se extrapolan los valores espectrales para el rango de frecuencias entre 45 y 50 Hz. La ecuación (5.8) corresponde a la extrapolación hasta los 50 Hz.

$$EAS(50\text{Hz} > f > 45\text{ Hz}) = EAS(f = 45\text{ Hz})D(\kappa, f - 45\text{ Hz}) \quad (5.8)$$

La ecuación (5.3) se diferencia de la ecuación (5.8) en el rango de frecuencias que abarcan, siendo la ecuación (5.3) una extrapolación hasta los 100Hz.

Una vez realizada la extrapolación, se implementó un decaimiento simple, adjuntando una función coseno hasta una amplitud de 0.001. El decaimiento queda definido por la ecuación (5.9).

$$W_2(f) = \begin{cases} 1 ; f \leq 30\text{ Hz}. \\ 0.5 \left(\cos\left(\frac{(f - 30)\pi}{20}\right) + 1 \right) ; f > 30\text{ Hz}. \end{cases} \quad (5.9)$$

Para obtener el valor del EAS considerando este decaimiento se obtienen los valores de la multiplicación ($EAS_{env} = W_2(f) EAS_{modelo}$). Solo fueron considerados los valores mayores a 0.001. Obteniendo el EAS con un decaimiento similar al esperado según las observaciones. En la siguiente figura se puede observar la función ventana vs frecuencia.

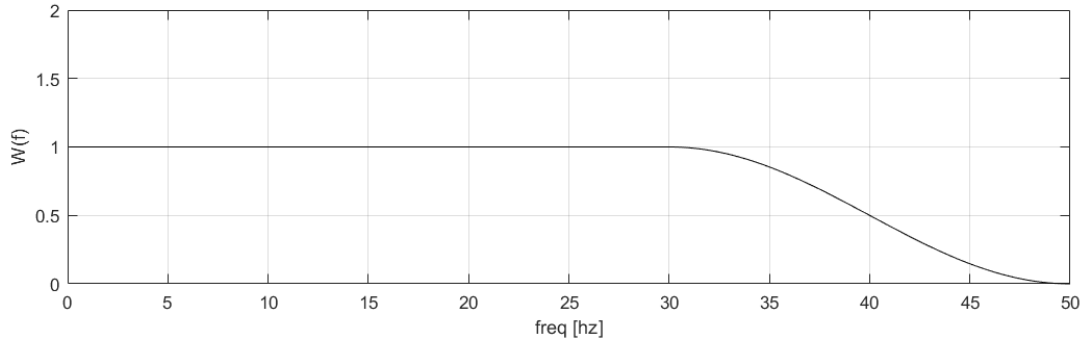


Figura 5.2 Función ventana descrita en la ecuación (5.9)

5.3 Análisis de residuales

Para evaluar los modelos se grafican los residuales versus las variables explicativas de los modelos, esto permite observar si existe alguna dependencia entre la variable y los residuales. El análisis de residuales fue realizado para dos casos, el primero corresponde al modelo sin considerar *supple* ni decaimiento basado en kappa, y el segundo corresponde considerando ambos ajustes ya nombrados. Además, se ajusta un modelo (es decir, $y=mx+n$) para observar la tendencia de los residuales. El valor-p (*p value*, en inglés) de la pendiente del modelo indica la probabilidad de que la pendiente sea cero. Valores pequeños de valor-p (<0.05) indican una tendencia significativa en los residuales con un 95% de intervalo de confianza. En primer lugar, se muestran los residuales del modelo obtenido directamente de la regresión, y luego se muestran los residuales considerando las modificaciones planteadas en este trabajo.

5.3.1 Análisis de residuales sin modificaciones.

A continuación, se pueden observar los residuales obtenidos de la interpolación para las frecuencias entre 0.1 a 2 Hz. Correspondiendo a los residuales δB_e , δW_{S2S} y δW_0 . Además, tal como se describió con anterioridad, se presentan los *p value* para la pendiente del modelo lineal ajustado. En la Figura 5.3 se puede observar la distribución de los residuales δB_e según M_W .

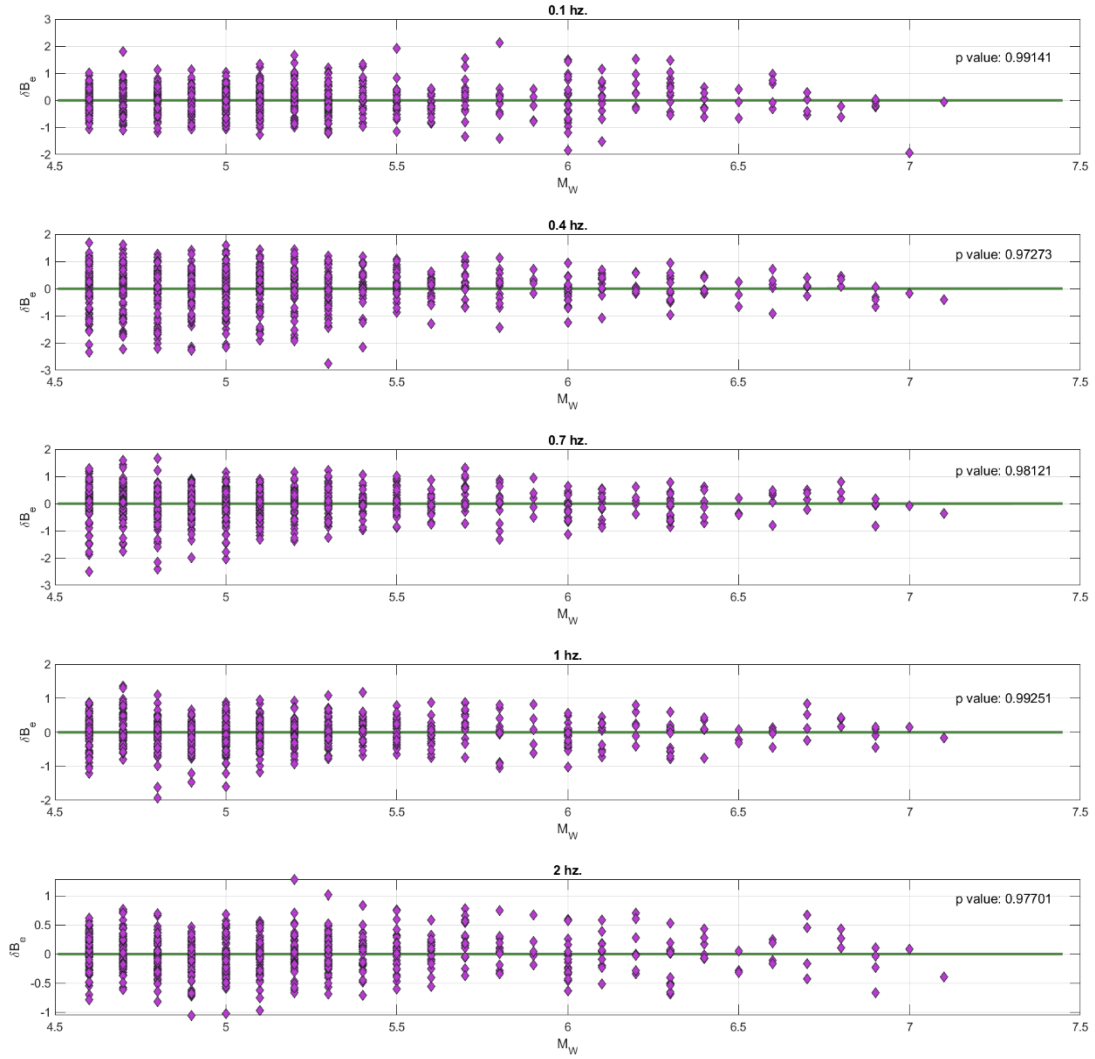


Figura 5.3 Residual δB_e vs M_W para las frecuencias 0.1, 0.4, 0.7, 1 y 2 Hz.

Tabla 5.1 p value para la pendiente del modelo lineal para el residual δB_e vs M_W .

Frecuencia	intercepto	pendiente	p value
0.1	-0.001516661	0.000425	0.991413
0.4	-0.009959798	0.001827	0.972729
0.7	-0.003831848	0.000984	0.981208
1	-0.001664722	0.000285	0.992509
2	-0.003140792	0.000643	0.977014

A continuación, se presentan la distribución de los residuales δW_{S2S} según V_{S30} .

Figura 5.4 Residual δW_{S2S} vs V_{S30} para las frecuencias 0.1, 0.4, 0.7, 1 y 2 Hz.

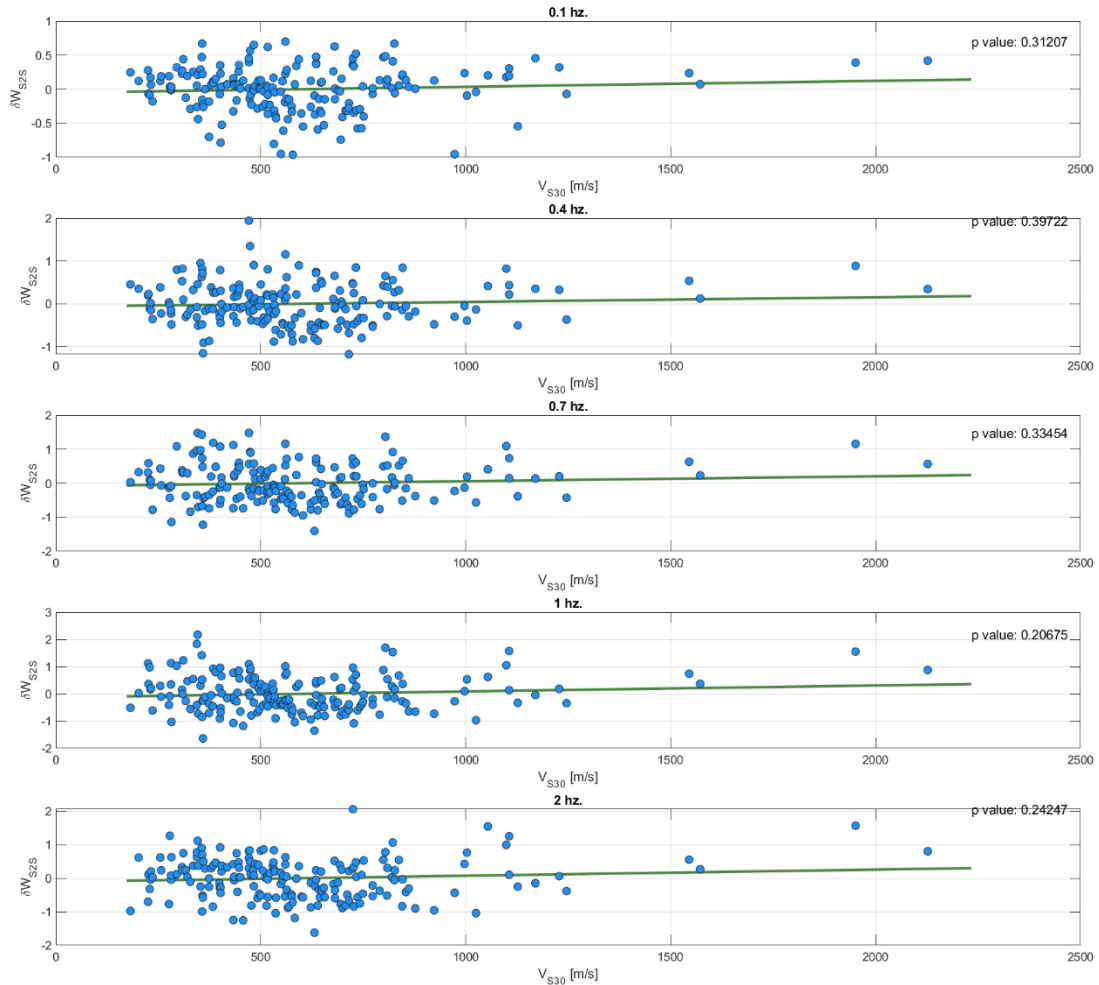


Tabla 5.2 p value para la pendiente del modelo lineal para el residual δW_{S2S} vs V_{S30}

Frecuencia	intercepto	pendiente	p value
0.1	-0.050965712	8.6826E-05	0.312069284
0.4	-0.065235215	0.000109217	0.397215225
0.7	-0.083902333	0.000144211	0.33453699
1	-0.128893389	0.000218115	0.206745479
2	-0.108291419	0.00018313	0.242473692

En las siguientes figuras se presenta la distribución de los residuales δW_0 según magnitud, velocidad de onda de corte a los 30 metros y distancia a la ruptura.

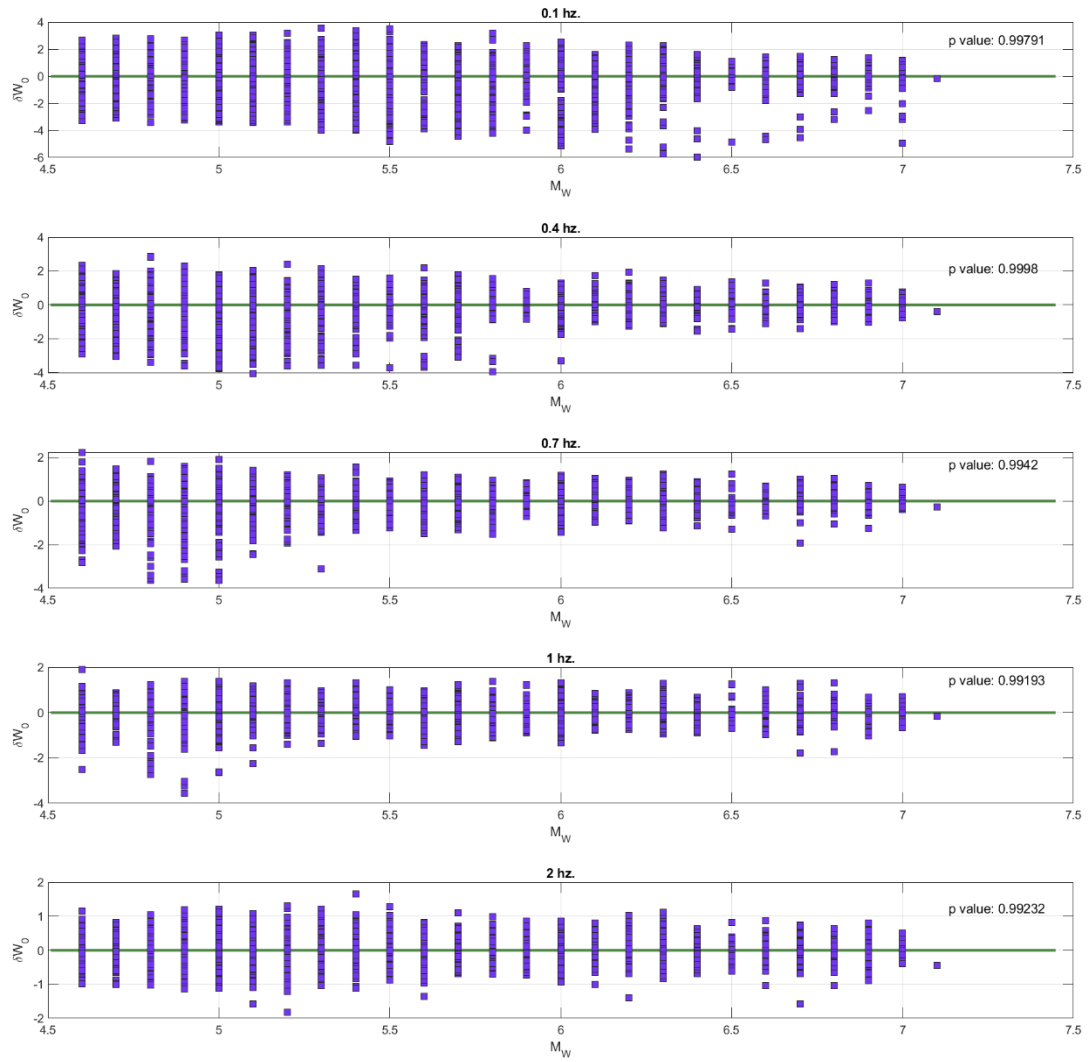


Figura 5.5 Residual δW_0 vs M_W para las frecuencias 0.1, 0.4, 0.7 1 y 2 Hz.

Tabla 5.3 p value para la pendiente del modelo lineal para el residual δW_0 vs M_W

Frecuencia	Intercepto	Pendiente	p value
0.1	0.000304429	-9.26823E-05	0.997913975
0.4	5.37404E-05	5.03783E-06	0.999803005
0.7	-0.000522891	9.82166E-05	0.994196216
1	-0.000658633	0.000111703	0.991928508
2	0.000561432	-8.90227E-05	0.992318086

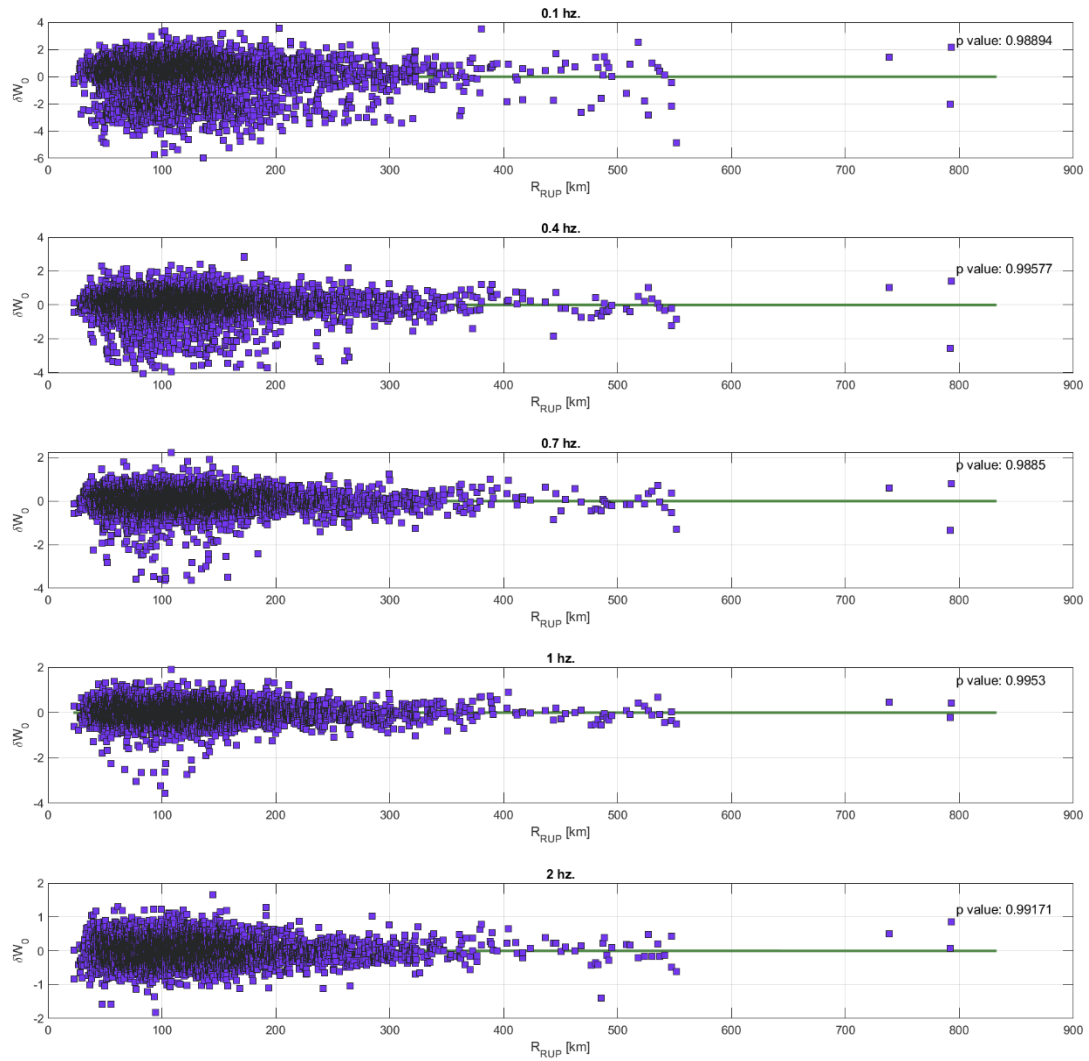


Figura 5.6 Residual δW_0 vs R_{RUP} para las frecuencias 0.1, 0.4, 0.7, 1 y 2 Hz.

Tabla 5.4 p value para la pendiente del modelo lineal para el residual δW_0 vs R_{RUP}

Frecuencia	Intercepto	Pendiente	P value
0.1	0.000337108	-4.05302E-06	0.988938985
0.4	0.00019933	-8.91121E-07	0.995774745
0.7	0.000224836	-1.60546E-06	0.988496744
1	2.07858E-05	-5.36379E-07	0.995300272
2	0.000181673	-7.92133E-07	0.991711556

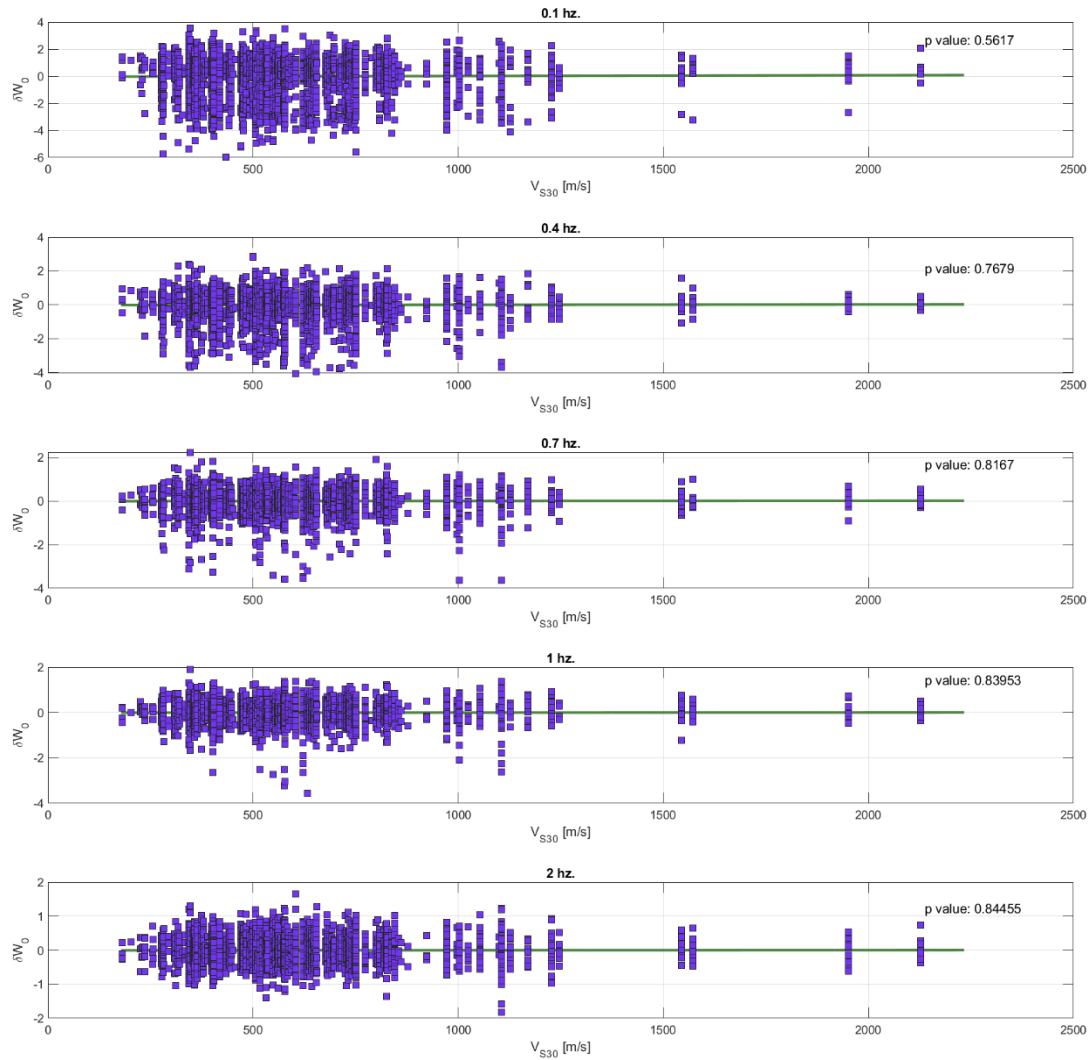


Figura 5.7 Residual δW_0 vs V_{S30} para las frecuencias 0.1, 0.4, 0.7 1 y 2 Hz.

Tabla 5.5 p value para la pendiente del modelo lineal para el residual δW_0 vs V_{S30}

Frecuencia	Intercepto	Pendiente	P value
0.1	-0.02968	5.04E-05	0.5617
0.4	-0.00855	1.47E-05	0.767905
0.7	-0.00447	7.66E-06	0.816699
1	-0.00325	5.48E-06	0.839532
2	-0.00252	4.44E-06	0.844554

Se obtiene en todos casos un $p\text{ value} > 0.05$, cumpliendo así la condición para considerar la pendiente nula. En el ANEXO 5.3 se detallan las figuras y tablas con los residuales para el resto de las frecuencias.

5.3.2 Análisis de residuales con modificaciones.

El análisis de residuales con modificaciones corresponde a la revisión del residual total $\Delta = \delta B_e + \delta W_{S2S} + \delta W_0$, para la modificación en f_0 , decaimiento a los 50 Hz, y a los 100 Hz. A continuación, se puede observar la comparación de los residuales para el caso de la modificación en f_0 .

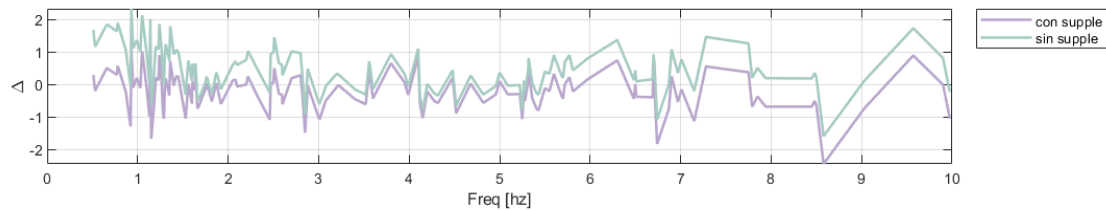


Figura 5.8 Residual total en f_0 con y sin *supple*

Se observa una reducción de los residuales para la frecuencia fundamental (f_0), principalmente en frecuencias entre el rango entre los 0.5 a 8 Hz. Logrando así, capturar el efecto de resonancia en la respuesta en superficie.

Por otra parte, se presenta en las siguientes figuras el residual total considerando el decaimiento para los 50 y 100 Hz.

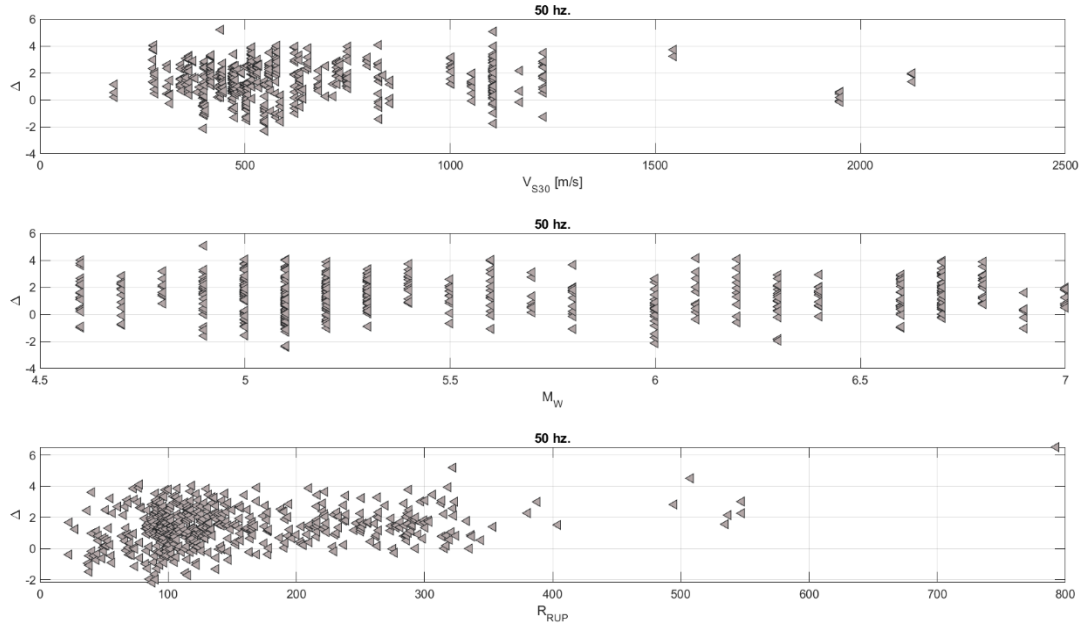


Figura 5.9 residual total considerando el decaimiento hasta los 50 Hz.

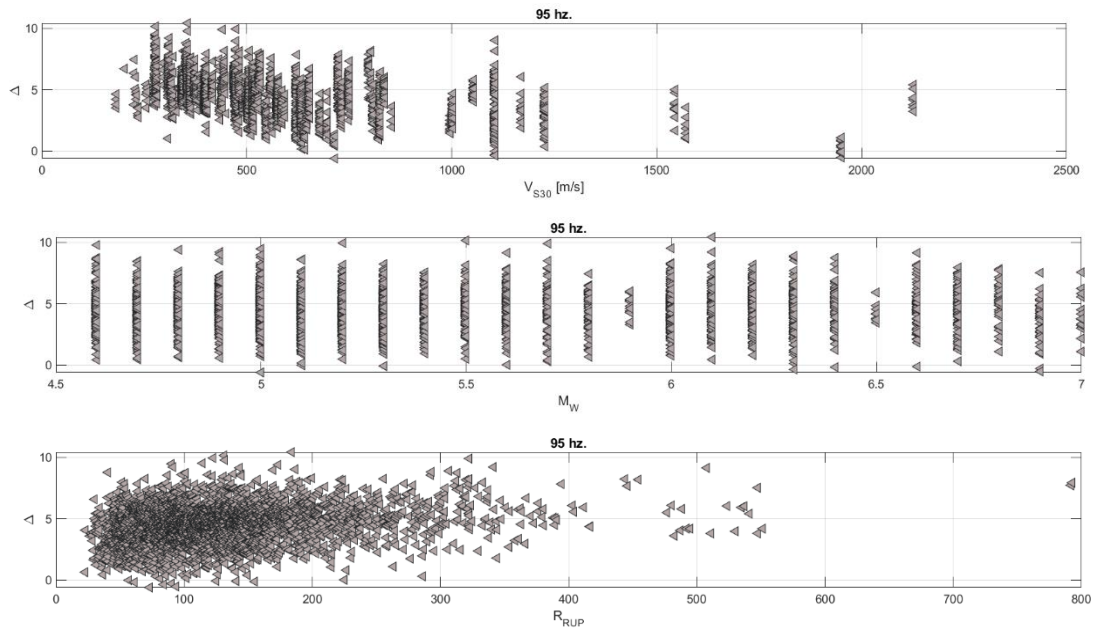


Figura 5.10 Residual total considerando el decaimiento hasta los 100 Hz.

5.4 Comparación con BA19

El modelo propuesto considerando *supple* y decaimiento es comparado con el modelo BA19, para observar el comportamiento considerando la base de datos definida con anterioridad. En la Figura 5.11 se observan los valores espectrales en la frecuencia.

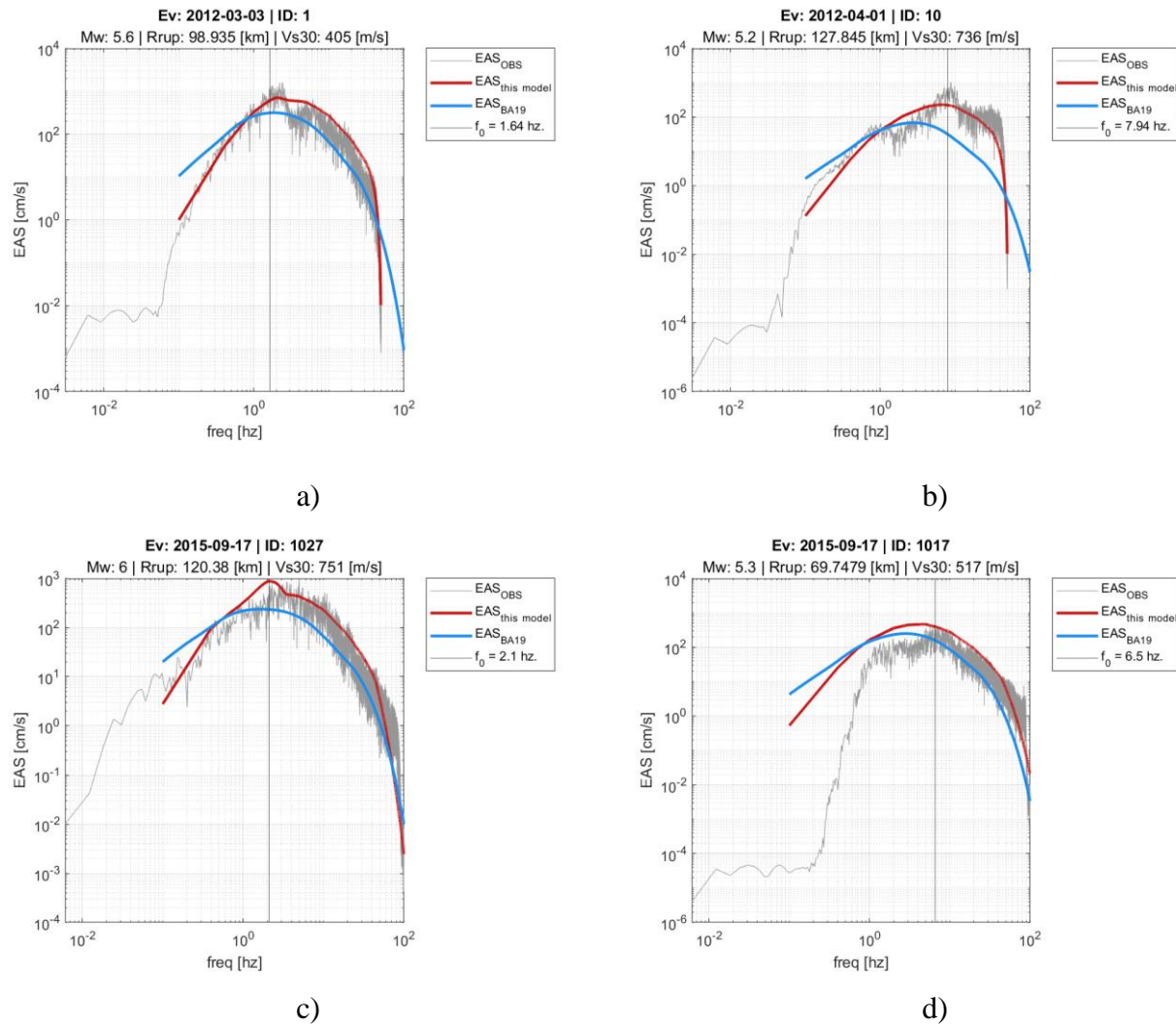


Figura 5.11 Comparación de EAS_{OBS} (EAS observado), EAS_{BA19} (modelo BA19) y $EAS_{this model}$,

a) Con *supple* y decaimiento a 50 Hz. b) Sin *supple* y decaimiento a 50 Hz. c) Con *supple* y decaimiento a 100 Hz. d) Sin *supple* y decaimiento a 100 Hz.

Se observa que el modelo propuesto tiene un mejor ajuste que el modelo BA19. Además, las modificaciones propuestas se adaptan a los datos observados extrapolando los valores del EAS hasta 100 Hz. según sea el caso.

5.5 Conclusiones

En este capítulo se revisó los resultados obtenidos del modelo de EAS. Además, se revisó la dependencia de los residuales con las variables explicativas (es decir, magnitud, Distancia a la Ruptura, VS30, etc.). Por otra parte, se comparó el modelo propuesto en este trabajo con el modelo BA19, concluyendo que el modelo propuesto se ajusta mejor a los valores del EAS para los registros chilenos. Debido a que, a pesar de que el modelo de BA19 usa datos de varios países en distintos entornos tectónicos, está calibrado para los eventos sísmicos de la zona oeste de Estados Unidos, donde los eventos son principalmente de falla normal. En contraste, la sismicidad en Chile se compone principalmente por eventos del tipo interplaca y además cuenta con gran presencia de eventos intraplaca. Los eventos en Chile cuentan con un amplio rango de magnitudes y distancias a la ruptura producidas por sus condiciones geográficas.

La importancia de revisar la variabilidad del modelo, tal como se ha mencionado en los capítulos anteriores, es debido a que no solo importa la mediana en la predicción sino también identificar la incertidumbre que puede ser provocada por el modelamiento o por las variables explicativas (es decir, Error epistémico). Para el modelo propuesto se tiene un buen ajuste a pesar de la simpleza del modelo. Además, debido a la técnica de obtención de los coeficientes, es posible modificar y mejorar este modelo considerando componentes para trayectoria, fuente y sitio más refinadas.

Las modificaciones realizadas al modelo propuesto (es decir, extrapolación a 100 Hz, decaimiento a los 50 Hz. y *supple* en f_0) tienen un buen resultado como primera aproximación para incluir dichos efectos.

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES

El modelo predictivo para EAS desarrollado para la zona de subducción chilena, es una gran herramienta para ser usada como espectro de diseño, puesto que captura mejor la física detrás de la generación de sismos de la región, permitiendo así un diseño y construcción de obras de ingeniería civil más seguras frente a los eventos sísmicos que le afectarán durante su vida útil. Además, el modelo predictivo es un aporte para mejorar y actualizar el cálculo de la demanda sísmica para las estructuras en nuestro país. Por otra parte, los modelos de amplitudes de Fourier son utilizados actualmente para generar registros de aceleración sintéticos, estos registros pueden complementar y suplementar base de datos de registros en lugares donde la información es escasa. Teniendo como finalidad realizar análisis no lineales considerando la evolución temporal frente a la demanda sísmica en estructuras de ingeniería (por ejemplo, Centrales nucleares, hidroeléctricas, estructuras mineras, etc.).

Los registros obtenidos por parte de las estaciones chilenas (CSN) fueron procesados según la metodología de (Bastías & Montalva, 2016). Actualmente las técnicas de filtrado de registros sísmicos adolecen de eliminar parte de la señal en el proceso. A pesar de eso, el ajuste por línea base en este trabajo tiene el comportamiento esperado. La base de datos generada para el modelo considera los eventos más recientes hasta la fecha y servirá de complemento para otra base de datos. Los registros de aceleración corresponden a registros digitales de eventos intraplaca e interplaca. Para esta base de datos se excluyeron eventos grandes (*megathrust*) ya que los mecanismos detrás de su generación son distintos.

Los metadatos fueron obtenidos de la base de datos del CSN y CMT. Los metadatos obtenidos para caracterizar los eventos fueron respecto a su localización temporal (Hora y fecha) y su localización espacial (coordenadas del epicentro y profundidad del evento), también su magnitud. Por otra parte, los metadatos obtenidos para caracterizar las estaciones fueron su localización espacial (coordenadas de la ubicación de las estaciones y su altura sobre el nivel del mar) y además características del suelo como son V_{s30} y f_0 .

En este trabajo se describió el proceso para obtener otros metadatos relevantes para el desarrollo del modelo. Por ejemplo, la distancia a la Ruptura (R_{RUP}), que fue obtenida mediante el cálculo de la

distancia entre la estación y el plano de falla estimado según su magnitud; y también la obtención de la frecuencia natural del suelo (f_0), para las estaciones que no contaban con f_0 disponible en CSN.

La forma funcional del modelo de EAS está basada en el modelo BA19, ajustada para modelar el comportamiento en la zona de subducción chilena. El modelo propuesto usa variables explicativas como V_{S30} , R_{RUP} y M_w , que son variables que definen las componentes de trayectoria, fuente y sitio.

La técnica usada para la regresión (es decir, Inferencia Bayesiana) permite capturar los efectos aleatorios de los modelos y también da paso a que este estudio pueda ser actualizado a medida que se tenga mayor evidencia. Además, su implementación es relativamente simple permitiendo varias iteraciones y probar distintas formas funcionales a bajo costo computacional. Por otra parte, se extrapolaron los resultados obtenidos por la regresión, (obtenidos hasta los 45 Hz.) mediante un ajuste para el decaimiento basado en κ (kappa) hasta los 100 Hz.

Al comparar el modelo propuesto en este trabajo con el modelo BA19, se tiene que el modelo propuesto se ajusta mejor a los datos chilenos, capturando así valores válidos para el EAS en la subducción chilena. Estos hallazgos sugieren que la adaptación de los modelos a las condiciones específicas de un territorio es crucial para obtener valores válidos y precisos del EAS, lo que a su vez es fundamental para el análisis de peligro sísmico y la evaluación de la capacidad de las estructuras para resistir los efectos de los terremotos en Chile. Por otra parte, este trabajo puede servir como referencia para futuros estudios de modelado del EAS en otros territorios con características geológicas y sísmicas similares.

REFERENCIAS

- Abrahamson, N. A., Silva, W. J., & Kamai, R. (2014). Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions. *Earthquake Spectra*, 30(3). <https://doi.org/10.1193/070913EQS198M>
- Al Atik, L., Abrahamson, N., Bommer, J. J., Scherbaum, F., Cotton, F., & Kuehn, N. (2010). The variability of ground-motion prediction models and its components. *Seismological Research Letters*, 81(5). <https://doi.org/10.1785/gssrl.81.5.794>
- Bastías, N., & Montalva, G. A. (2016). Chile strong ground motion flatfile. *Earthquake Spectra*, 32(4). <https://doi.org/10.1193/102715EQS158DP>
- Bayless, J., & Abrahamson, N. A. (2019). Summary of the BA18 ground-motion model for fourier amplitude spectra for crustal earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 109(5). <https://doi.org/10.1785/0120190077>
- Bindi, D., Kotha, S. R., Weatherill, G., Lanzano, G., Luzi, L., & Cotton, F. (2019). The pan-European engineering strong motion (ESM) flatfile: consistency check via residual analysis. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(2). <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0466-x>
- Ekström, G., Nettles, M., & Dziewoński, A. M. (2012). The global CMT project 2004–2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 200–201, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2012.04.002>
- Erol Kalkan, P. E. (2022). *An Automated S-phase Arrival Time Picker with SNR Output* (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/70343-an-automated-s-phase-arrival-time-picker-with-snr-output>), MATLAB Central File Exchange.
- Hashash, Y. M. A., Harmon, J., Ilhan, O., Stewart, J. P., Rathje, E. M., Campbell, K. W., Silva, W. J., & Goulet, C. A. (2018). *Modelling of Site Amplification via Large Scale Nonlinear Simulations with Applications to North America*. <https://doi.org/10.1061/9780784481462.051>
- Kalkan, E. (2016). An automatic P-phase arrival-time picker. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106(3). <https://doi.org/10.1785/0120150111>
- Konno, K., & Ohmachi, T. (1995). A SMOOTHING FUNCTION SUITABLE FOR ESTIMATION OF AMPLIFICATION FACTOR OF THE SURFACE GROUND FROM MICROTREMOR AND ITS APPLICATION. *Doboku Gakkai Ronbunshu*, 1995(525). https://doi.org/10.2208/jscej.1995.525_247
- Lanzano, G., Sgobba, S., Luzi, L., Puglia, R., Pacor, F., Felicetta, C., D'Amico, M., Cotton, F., & Bindi, D. (2019). The pan-European Engineering Strong Motion (ESM) flatfile: compilation

- criteria and data statistics. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(2).
<https://doi.org/10.1007/s10518-018-0480-z>
- Montalva, G. A., Bastías, N., & Leyton, F. (2022). Strong Ground Motion Prediction Model for PGV and Spectral Velocity for the Chilean Subduction Zone. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 112(1). <https://doi.org/10.1785/0120210037>
- 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>
- R Core Team. (2021). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- Stan Development Team. (2020). *RStan: the R interface to Stan*.
- Thingbaijam, K. K. S., Mai, P. M., & Goda, K. (2017). New empirical earthquake source-scaling laws. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107(5). <https://doi.org/10.1785/0120170017>

ANEXO 1.1 CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. Seleccione a cuál o cuáles de los 17 ODS contribuye su trabajo de Memoria de Título:

- ☐ ODS-1 : Fin de la pobreza.
- ☐ ODS-2 : Hambre cero.
- ☐ ODS-3 : Salud y bienestar.
- ☐ ODS-4 : Educación de calidad.
- ☐ ODS-5 : Igualdad de género.
- ☐ ODS-6 : Agua limpia y saneamiento.
- ☐ ODS-7 : Energía asequible y no contaminante.
- ☐ ODS-8 : Trabajo decente y crecimiento económico.
- ☒ ODS-9 : Industria, innovación e infraestructura.
- ☐ ODS-10 : Reducción de las desigualdades.
- ☐ ODS-11 : Ciudades y comunidades sostenibles.
- ☐ ODS-12 : Producción y consumo responsables.
- ☐ ODS-13 : Acción por el clima.
- ☐ ODS-14 : Vida Submarina.
- ☐ ODS-15 : Vida de ecosistemas terrestres.
- ☐ ODS-16 : Paz, justicia e instituciones sólidas.
- ☐ ODS-17 : Alianzas para lograr los objetivos.

Vinculación
<p>El tema de la memoria consiste en el modelamiento de las amplitudes de Fourier para ondas sísmicas de la zona de subducción chilena. Estos modelos permiten estimar de forma más precisa la demanda sísmica según su contexto. Una estimación de la demanda permite diseñar estructuras capaces de resistir las cargas sísmicas que tendrá durante su vida útil.</p> <p>En particular se vincula directamente con el diseño de infraestructuras ya que puede contribuir a la construcción de infraestructuras resilientes, la promoción de la industrialización sostenible y el estímulo a la innovación en el diseño de obras industriales.</p>

ANEXO 3.1 DATOS DISPONIBLES

A continuación, se presenta la distribución de la cantidad de registros según su año, correspondiendo a un total de 4.135 registros de 789 eventos entre los años 2012 a 2021.

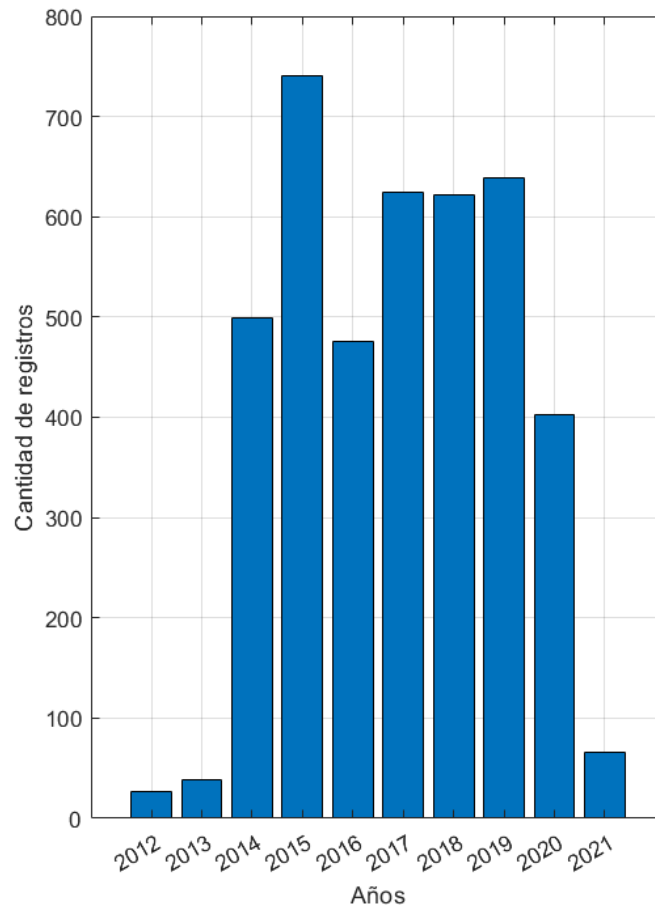


Figura A. 3.1.1 Distribución de la cantidad de eventos según su año.

ANEXO 3.2 BASE DE DATOS SEGÚN ESTACIÓN Y EVENTOS

Se presentan las tablas de la base de datos para los eventos, estaciones y registros.

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

ID Ev	Evento	Lat Ev [°]	Long Ev [°]	Mw
EV_1	2012-03-03T11-1-47_Mw_5,6	-30.189	-71.448	5.6
EV_2	2012-04-01T7-31-36_Mw_5,2	-23.056	-69.316	5.2
EV_3	2014-03-16T21-16-29_Mw_6,7	-19.965	-70.814	6.7
EV_4	2015-09-17T1-41-5_Mw_6,5	-31.113	-71.651	6.5
EV_5	2015-09-17T10-12-53_Mw_5,3	-30.536	-71.632	5.3
EV_6	2015-09-17T10-31-25_Mw_5,0	-30.933	-71.459	5
EV_7	2015-09-17T12-58-8_Mw_4,9	-30.694	-71.559	4.9
EV_8	2015-09-17T13-32-26_Mw_6,0	-32.143	-72.173	6
EV_9	2015-09-17T16-46-23_Mw_5,0	-31.504	-71.737	5
EV_10	2015-09-17T16-52-20_Mw_5,3	-29.935	-71.961	5.3
EV_11	2015-09-17T16-8-9_Mw_5,3	-29.854	-70.485	5.3
EV_12	2015-09-17T17-32-20_Mw_4,8	-30.684	-71.614	4.8
EV_13	2015-09-17T2-44-26_Mw_4,8	-31.239	-71.773	4.8
EV_14	2015-09-17T2-52-43_Mw_4,8	-30.92	-71.35	4.8
EV_15	2015-09-17T2-59-28_Mw_5,5	-30.98	-71.364	5.5
EV_16	2014-03-17T11-12-17_Mw_5,1	-19.912	-70.908	5.1
EV_17	2015-09-17T20-40-34_Mw_5,5	-30.036	-71.671	5.5
EV_18	2014-03-18T21-33-8_Mw_5,0	-20.025	-70.844	5
EV_19	2015-09-17T3-12-42_Mw_5,4	-30.922	-71.264	5.4
EV_20	2014-03-20T18-41-33_Mw_5,4	-24.032	-69.25	5.4
EV_21	2014-03-22T12-59-54_Mw_5,8	-19.836	-71.384	5.8
EV_22	2015-09-17T3-55-15_Mw_5,8	-31.461	-71.704	5.8
EV_23	2012-04-30T7-39-44_Mw_6,0	-29.8	-71.641	6
EV_24	2015-09-17T4-10-27_Mw_6,6	-31.542	-71.748	6.6
EV_25	2014-03-22T13-14-56_Mw_5,3	-19.821	-70.881	5.3
EV_26	2015-09-17T4-38-8_Mw_5,2	-31.304	-71.801	5.2
EV_27	2015-09-17T5-4-48_Mw_4,8	-31.5	-71.728	4.8

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_28	2015-09-17T5-44-41_Mw_5,3	-31.825	-71.958	5.3
EV_29	2015-09-17T5-57-10_Mw_4,6	-31.853	-71.906	4.6
EV_30	2015-09-17T6-38-54_Mw_4,9	-31.641	-71.789	4.9
EV_31	2015-09-17T7-28-4_Mw_4,7	-31.507	-71.579	4.7
EV_32	2015-09-17T8-32-43_Mw_5,0	-31.601	-71.408	5
EV_33	2015-09-18T1-50-21_Mw_4,7	-31.438	-71.682	4.7
EV_34	2014-03-23T18-20-0_Mw_6,1	-19.794	-70.943	6.1
EV_35	2015-09-18T19-54-47_Mw_4,7	-30.107	-71.547	4.7
EV_36	2015-09-18T3-15-39_Mw_5,2	-31.447	-71.53	5.2
EV_37	2015-09-18T4-29-3_Mw_5,0	-31.666	-71.654	5
EV_38	2015-09-18T9-10-40_Mw_6,0	-32.06	-72.102	6
EV_39	2015-09-19T12-52-20_Mw_6,3	-32.326	-71.906	6.3
EV_40	2012-05-14T10-0-40_Mw_6,4	-18.115	-70.237	6.4
EV_41	2015-09-19T13-1-7_Mw_4,7	-32.443	-71.834	4.7
EV_42	2015-09-19T18-13-16_Mw_4,8	-31.314	-71.714	4.8
EV_43	2015-09-19T19-9-4_Mw_4,6	-32.363	-71.782	4.6
EV_44	2015-09-19T2-49-40_Mw_5,4	-31.539	-71.769	5.4
EV_45	2015-09-19T22-59-41_Mw_4,8	-30.725	-71.297	4.8
EV_46	2015-09-19T4-44-12_Mw_4,6	-30.815	-71.393	4.6
EV_47	2015-09-19T5-6-45_Mw_6,3	-29.653	-72.276	6.3
EV_48	2015-09-19T9-7-7_Mw_6,0	-31.128	-71.578	6
EV_49	2015-09-20T14-31-8_Mw_5,2	-30.592	-71.74	5.2
EV_50	2015-09-20T17-18-26_Mw_4,8	-30.659	-71.744	4.8
EV_51	2015-09-20T3-2-1_Mw_5,5	-30.79	-71.319	5.5
EV_52	2015-09-20T6-55-49_Mw_4,8	-30.596	-71.609	4.8
EV_53	2014-03-24T11-26-40_Mw_5,4	-19.879	-70.839	5.4
EV_54	2015-09-21T15-37-7_Mw_6,0	-31.113	-71.792	6
EV_55	2015-09-21T17-39-58_Mw_6,7	-31.759	-71.553	6.7
EV_56	2014-03-24T11-32-16_Mw_5,1	-19.796	-70.808	5.1
EV_57	2014-03-24T11-40-44_Mw_5,3	-19.822	-70.868	5.3

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_58	2015-09-21T18-36-53_Mw_5,8	-31.087	-71.769	5.8
EV_59	2014-03-31T12-53-6_Mw_5,6	-19.511	-69.174	5.6
EV_60	2015-09-21T18-47-6_Mw_4,6	-31.764	-71.574	4.6
EV_61	2015-09-21T19-56-9_Mw_6,0	-31.77	-71.599	6
EV_62	2015-09-21T5-39-34_Mw_6,2	-31.759	-71.737	6.2
EV_63	2015-09-22T22-26-40_Mw_5,0	-31.024	-71.571	5
EV_64	2015-09-22T7-12-59_Mw_6,2	-31.451	-71.13	6.2
EV_65	2012-05-19T8-35-9_Mw_6,1	-25.741	-70.858	6.1
EV_66	2015-09-22T8-37-34_Mw_4,6	-30.416	-71.596	4.6
EV_67	2015-09-23T11-32-42_Mw_5,1	-31.637	-71.889	5.1
EV_68	2015-09-23T4-21-27_Mw_5,0	-31.351	-72.009	5
EV_69	2015-09-24T13-35-54_Mw_4,8	-31.69	-71.546	4.8
EV_70	2015-09-24T16-13-25_Mw_5,4	-30.705	-71.398	5.4
EV_71	2015-09-24T7-14-44_Mw_4,8	-20.214	-69.15	4.8
EV_72	2015-09-25T11-47-8_Mw_4,7	-31.561	-71.806	4.7
EV_73	2015-09-25T3-21-57_Mw_5,3	-20.91	-69.221	5.3
EV_74	2015-09-26T11-15-29_Mw_4,6	-31.828	-71.952	4.6
EV_75	2015-09-26T2-51-18_Mw_6,3	-30.794	-71.418	6.3
EV_76	2015-09-27T21-4-45_Mw_5,3	-31.669	-71.701	5.3
EV_77	2015-09-27T8-28-36_Mw_4,6	-30.732	-71.473	4.6
EV_78	2015-09-28T15-28-4_Mw_6,0	-23.875	-67.121	6
EV_79	2015-09-30T18-21-17_Mw_4,7	-30.638	-71.722	4.7
EV_80	2015-09-30T2-0-3_Mw_4,9	-30.663	-71.724	4.9
EV_81	2015-10-01T2-6-22_Mw_4,8	-30.719	-71.428	4.8
EV_82	2015-10-02T16-22-47_Mw_4,9	-30.579	-71.6	4.9
EV_83	2015-10-02T8-28-8_Mw_4,9	-36.488	-71.728	4.9
EV_84	2015-10-03T11-21-2_Mw_5,3	-29.856	-71.637	5.3
EV_85	2012-08-07T0-39-3_Mw_5,5	-27.878	-70.579	5.5
EV_86	2015-10-03T13-48-11_Mw_4,7	-29.989	-71.534	4.7
EV_87	2015-10-03T6-26-56_Mw_6,0	-30.368	-71.371	6

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_88	2014-04-02T19-50-23_Mw_4,6	-20.058	-70.52	4.6
EV_89	2014-04-02T3-40-15_Mw_5,0	-19.966	-71.116	5
EV_90	2015-10-04T10-11-56_Mw_5,2	-30.656	-71.627	5.2
EV_91	2015-10-04T16-57-21_Mw_4,8	-30.539	-72.182	4.8
EV_92	2015-10-04T3-49-49_Mw_5,2	-30.373	-72.199	5.2
EV_93	2015-10-05T16-33-27_Mw_6,1	-30.35	-71.466	6.1
EV_94	2014-04-02T4-13-10_Mw_4,8	-19.573	-70.53	4.8
EV_95	2015-10-06T10-47-33_Mw_5,1	-31.515	-71.446	5.1
EV_96	2015-10-06T22-48-33_Mw_5,0	-30.851	-71.46	5
EV_97	2015-10-07T8-0-40_Mw_5,2	-30.298	-71.228	5.2
EV_98	2014-04-02T4-19-47_Mw_5,1	-19.89	-71.112	5.1
EV_99	2012-08-27T0-39-55_Mw_5,0	-23.742	-69.418	5
EV_100	2014-04-02T4-46-20_Mw_5,7	-20.134	-70.792	5.7
EV_101	2015-10-09T18-27-34_Mw_5,5	-31.764	-71.706	5.5
EV_102	2015-10-09T6-8-55_Mw_4,7	-30.819	-71.42	4.7
EV_103	2015-10-11T16-54-58_Mw_4,8	-30.695	-71.712	4.8
EV_104	2015-10-12T14-59-21_Mw_4,7	-30.568	-71.71	4.7
EV_105	2015-10-12T16-46-42_Mw_5,0	-30.67	-71.708	5
EV_106	2014-04-02T5-9-21_Mw_4,7	-20.382	-70.585	4.7
EV_107	2015-10-12T3-15-18_Mw_5,4	-31.181	-71.786	5.4
EV_108	2014-04-03T1-58-31_Mw_6,3	-20.29	-70.613	6.3
EV_109	2015-10-12T3-31-32_Mw_5,0	-31.193	-71.788	5
EV_110	2015-10-15T11-3-10_Mw_4,6	-30.855	-71.734	4.6
EV_111	2015-10-15T19-23-22_Mw_5,1	-30.573	-71.609	5.1
EV_112	2015-10-16T4-43-58_Mw_4,8	-20.07	-68.894	4.8
EV_113	2015-10-18T12-48-43_Mw_5,0	-35.969	-72.668	5
EV_114	2015-10-20T10-6-13_Mw_5,2	-30.736	-71.443	5.2
EV_115	2015-10-20T4-6-54_Mw_5,0	-30.757	-71.456	5
EV_116	2012-09-21T12-17-25_Mw_5,4	-19.719	-69.335	5.4
EV_117	2015-10-21T14-39-18_Mw_4,8	-20.374	-69.298	4.8

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_118	2015-10-21T18-45-46_Mw_5,0	-30.826	-71.382	5
EV_119	2015-10-24T21-24-44_Mw_5,0	-31.438	-71.43	5
EV_120	2015-10-25T13-13-45_Mw_4,7	-29.721	-71.201	4.7
EV_121	2015-10-25T5-46-23_Mw_4,6	-20.386	-68.966	4.6
EV_122	2014-04-03T11-50-48_Mw_4,7	-20.657	-70.338	4.7
EV_123	2015-10-28T4-12-7_Mw_4,7	-30.32	-71.509	4.7
EV_124	2015-11-01T1-28-39_Mw_5,1	-38.823	-73.42	5.1
EV_125	2014-04-03T14-34-5_Mw_4,8	-20.596	-70.934	4.8
EV_126	2015-11-01T15-16-16_Mw_5,9	-23.232	-68.535	5.9
EV_127	2015-11-03T1-43-30_Mw_4,9	-30.639	-71.717	4.9
EV_128	2015-11-05T17-2-39_Mw_4,8	-30.714	-71.762	4.8
EV_129	2015-11-06T11-44-49_Mw_4,6	-19.99	-68.946	4.6
EV_130	2015-11-06T8-44-9_Mw_5,1	-30.16	-72.131	5.1
EV_131	2015-11-07T10-31-19_Mw_4,9	-30.765	-71.363	4.9
EV_132	2015-11-07T10-53-42_Mw_6,0	-30.719	-71.367	6
EV_133	2015-11-07T7-31-41_Mw_6,8	-30.87	-71.431	6.8
EV_134	2012-10-08T1-50-25_Mw_5,7	-21.828	-68.537	5.7
EV_135	2015-11-07T7-4-31_Mw_6,0	-29.467	-72.354	6
EV_136	2015-11-08T8-13-37_Mw_5,5	-17.472	-69.791	5.5
EV_137	2015-11-09T4-46-27_Mw_5,4	-23.477	-69.027	5.4
EV_138	2015-11-10T12-58-37_Mw_5,0	-30.798	-71.456	5
EV_139	2015-11-10T23-48-26_Mw_5,0	-29.504	-71.97	5
EV_140	2015-11-11T1-54-36_Mw_6,9	-29.46	-72.12	6.9
EV_141	2015-11-11T2-23-41_Mw_5,1	-29.461	-71.756	5.1
EV_142	2012-10-11T17-22-10_Mw_5,7	-32.879	-70.651	5.7
EV_143	2015-11-11T2-46-16_Mw_6,9	-29.552	-72.261	6.9
EV_144	2015-11-18T6-13-17_Mw_4,6	-19.343	-69.386	4.6
EV_145	2015-11-21T23-5-28_Mw_6,0	-30.607	-71.797	6
EV_146	2015-11-22T22-16-54_Mw_5,1	-23.627	-69.052	5.1
EV_147	2015-11-22T5-57-39_Mw_4,8	-30.411	-71.708	4.8

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_148	2015-11-27T21-0-21_Mw_6,3	-24.779	-70.546	6.3
EV_149	2015-11-28T5-44-37_Mw_5,4	-30.341	-72.343	5.4
EV_150	2015-12-01T12-8-33_Mw_5,1	-30.29	-71.507	5.1
EV_151	2015-12-01T13-39-56_Mw_5,3	-16.579	-71.295	5.3
EV_152	2015-12-01T3-4-4_Mw_4,6	-30.407	-71.626	4.6
EV_153	2015-12-01T7-26-13_Mw_4,7	-31.593	-71.362	4.7
EV_154	2015-12-03T8-32-45_Mw_5,1	-29.84	-71.54	5.1
EV_155	2015-12-07T7-51-13_Mw_5,5	-31.131	-71.264	5.5
EV_156	2012-03-04T16-27-20_Mw_5,3	-21.602	-70.061	5.3
EV_157	2015-12-08T12-56-7_Mw_5,6	-30.844	-71.713	5.6
EV_158	2014-04-03T2-56-8_Mw_5,3	-20.737	-70.54	5.3
EV_159	2015-12-10T0-9-24_Mw_5,3	-35.914	-73.562	5.3
EV_160	2015-12-19T19-25-5_Mw_6,0	-30.637	-71.308	6
EV_161	2014-04-03T23-37-51_Mw_5,1	-20.178	-70.627	5.1
EV_162	2015-12-22T18-46-39_Mw_4,6	-30.803	-71.251	4.6
EV_163	2015-12-24T10-42-18_Mw_4,7	-35.451	-72.993	4.7
EV_164	2015-12-26T17-58-9_Mw_4,9	-31.759	-72.102	4.9
EV_165	2015-12-26T17-59-39_Mw_4,8	-31.749	-71.93	4.8
EV_166	2015-12-27T23-47-9_Mw_4,8	-31.778	-71.658	4.8
EV_167	2016-01-07T15-40-43_Mw_5,3	-41.721	-74.147	5.3
EV_168	2016-01-07T2-9-43_Mw_4,9	-30.633	-71.621	4.9
EV_169	2016-01-09T9-3-38_Mw_4,6	-19.829	-69.117	4.6
EV_170	2016-01-10T13-33-35_Mw_5,0	-31.316	-71.733	5
EV_171	2014-04-03T4-17-59_Mw_5,0	-20.593	-70.675	5
EV_172	2016-01-10T4-36-38_Mw_4,9	-36.395	-72.735	4.9
EV_173	2014-04-03T5-26-14_Mw_6,3	-20.798	-70.651	6.3
EV_174	2016-01-13T12-20-40_Mw_4,8	-19.278	-70.131	4.8
EV_175	2016-01-17T15-28-40_Mw_5,0	-21.339	-68.885	5
EV_176	2014-04-03T5-26-15_Mw_6,3	-20.799	-70.675	6.3
EV_177	2016-01-19T11-39-40_Mw_5,1	-22.97	-69.009	5.1

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_178	2016-01-21T13-36-9_Mw_4,6	-30.394	-71.518	4.6
EV_179	2016-01-26T0-19-11_Mw_5,1	-32.649	-71.849	5.1
EV_180	2016-01-27T13-16-35_Mw_4,8	-30.662	-71.688	4.8
EV_181	2016-01-29T20-7-16_Mw_5,2	-30.363	-71.539	5.2
EV_182	2016-02-04T17-55-0_Mw_5,2	-31.069	-71.778	5.2
EV_183	2016-02-05T5-28-7_Mw_5,1	-31.097	-71.806	5.1
EV_184	2016-02-10T0-33-4_Mw_6,4	-30.634	-71.649	6.4
EV_185	2016-02-12T22-32-5_Mw_5,0	-19.943	-70.311	5
EV_186	2014-04-03T5-34-33_Mw_4,6	-20.466	-70.573	4.6
EV_187	2016-02-19T5-33-8_Mw_5,4	-30.587	-71.695	5.4
EV_188	2016-02-20T18-23-1_Mw_4,9	-32.499	-70.013	4.9
EV_189	2016-02-22T6-37-1_Mw_6,0	-30.488	-72.227	6
EV_190	2012-11-13T3-11-25_Mw_5,1	-20.54	-69.03	5.1
EV_191	2014-04-03T5-51-44_Mw_5,5	-20.756	-70.425	5.5
EV_192	2016-02-24T17-2-4_Mw_4,7	-29.957	-71.663	4.7
EV_193	2014-04-03T5-51-45_Mw_5,5	-20.769	-70.437	5.5
EV_194	2016-02-24T19-10-1_Mw_4,7	-29.799	-71.478	4.7
EV_195	2016-02-25T11-27-53_Mw_4,7	-30.772	-71.384	4.7
EV_196	2016-02-25T15-35-7_Mw_5,3	-23.055	-69.045	5.3
EV_197	2016-03-02T9-49-55_Mw_5,1	-18.646	-70.606	5.1
EV_198	2016-03-03T18-51-1_Mw_4,7	-19.139	-69.271	4.7
EV_199	2016-03-09T13-28-11_Mw_5,1	-30.444	-71.311	5.1
EV_200	2014-04-03T6-54-32_Mw_4,7	-20.625	-70.635	4.7
EV_201	2016-03-10T8-34-13_Mw_5,0	-18.826	-69.542	5
EV_202	2016-03-12T16-5-15_Mw_5,2	-30.307	-71.539	5.2
EV_203	2014-04-03T9-23-23_Mw_5,2	-20.595	-70.767	5.2
EV_204	2016-03-16T3-49-31_Mw_5,6	-31.27	-71.88	5.6
EV_205	2016-03-20T23-23-10_Mw_4,7	-31.398	-71.639	4.7
EV_206	2016-03-23T0-37-59_Mw_4,9	-31.765	-71.432	4.9
EV_207	2016-03-25T22-36-2_Mw_4,6	-35.181	-71.139	4.6

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_208	2016-03-25T8-3-20_Mw_4,8	-30.688	-71.43	4.8
EV_209	2014-04-03T9-8-57_Mw_4,8	-20.284	-70.468	4.8
EV_210	2016-03-31T7-53-28_Mw_5,0	-22.625	-68.749	5
EV_211	2016-04-01T2-40-18_Mw_4,6	-30.63	-71.698	4.6
EV_212	2016-04-01T3-13-20_Mw_4,6	-20.32	-69.929	4.6
EV_213	2016-04-04T12-32-44_Mw_5,2	-31.25	-71.844	5.2
EV_214	2016-04-04T23-12-17_Mw_4,6	-30.795	-71.316	4.6
EV_215	2016-04-06T17-35-38_Mw_5,2	-31.512	-71.675	5.2
EV_216	2016-04-07T7-3-7_Mw_4,7	-20.423	-68.828	4.7
EV_217	2016-04-10T18-10-56_Mw_4,6	-31.502	-71.726	4.6
EV_218	2016-04-14T9-38-44_Mw_5,3	-33.86	-70.445	5.3
EV_219	2016-04-15T4-27-56_Mw_4,6	-32.176	-71.842	4.6
EV_220	2016-04-16T6-5-23_Mw_5,3	-26.491	-70.04	5.3
EV_221	2014-04-04T1-37-51_Mw_6,1	-20.616	-70.566	6.1
EV_222	2014-04-04T4-34-28_Mw_5,2	-22.162	-70.264	5.2
EV_223	2016-04-17T14-59-45_Mw_4,9	-30.753	-71.354	4.9
EV_224	2016-04-18T11-38-38_Mw_5,5	-31.771	-71.307	5.5
EV_225	2014-04-04T9-52-7_Mw_5,4	-31.476	-70.639	5.4
EV_226	2016-04-30T2-49-8_Mw_4,8	-29.825	-71.976	4.8
EV_227	2016-05-08T10-33-12_Mw_4,6	-32.769	-71.531	4.6
EV_228	2016-05-08T19-6-1_Mw_5,0	-24.711	-69.468	5
EV_229	2016-05-11T13-11-32_Mw_5,6	-30.664	-71.888	5.6
EV_230	2014-04-04T9-53-25_Mw_4,6	-20.625	-70.702	4.6
EV_231	2016-05-12T18-3-50_Mw_4,6	-30.616	-71.747	4.6
EV_232	2012-11-16T0-38-5_Mw_5,3	-21.506	-69.488	5.3
EV_233	2014-04-05T0-33-58_Mw_4,8	-20.167	-70.524	4.8
EV_234	2016-05-22T11-47-10_Mw_5,1	-30.63	-71.645	5.1
EV_235	2016-05-26T20-36-50_Mw_4,8	-29.961	-71.879	4.8
EV_236	2016-06-05T15-5-35_Mw_5,3	-19.484	-69.245	5.3
EV_237	2016-06-05T5-51-10_Mw_5,6	-29.322	-71.816	5.6

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_238	2014-04-05T2-22-39_Mw_5,7	-32.669	-71.295	5.7
EV_239	2016-06-06T13-16-1_Mw_5,8	-30.123	-71.484	5.8
EV_240	2016-06-06T13-21-58_Mw_5,6	-30.061	-71.528	5.6
EV_241	2014-04-05T4-5-3_Mw_4,7	-20.707	-70.688	4.7
EV_242	2016-06-14T11-43-24_Mw_4,6	-30.179	-71.602	4.6
EV_243	2016-06-16T1-14-46_Mw_4,9	-30.652	-71.217	4.9
EV_244	2016-06-17T3-48-39_Mw_4,8	-30.168	-71.438	4.8
EV_245	2014-04-05T5-44-56_Mw_5,4	-20.161	-70.538	5.4
EV_246	2016-06-17T6-38-24_Mw_4,9	-30.656	-71.629	4.9
EV_247	2016-06-18T17-29-46_Mw_6,0	-24.188	-67.495	6
EV_248	2016-06-22T3-54-41_Mw_5,2	-30.624	-71.719	5.2
EV_249	2016-06-24T21-29-17_Mw_5,8	-25.738	-69.346	5.8
EV_250	2016-06-25T0-47-28_Mw_4,7	-31.535	-71.5	4.7
EV_251	2016-06-27T12-51-12_Mw_5,1	-31.769	-71.382	5.1
EV_252	2014-04-06T14-6-9_Mw_5,0	-20.414	-70.983	5
EV_253	2016-06-28T23-7-30_Mw_5,0	-30.389	-71.618	5
EV_254	2016-07-01T22-20-8_Mw_4,9	-30.802	-71.445	4.9
EV_255	2016-07-04T23-2-24_Mw_5,0	-20.711	-69.132	5
EV_256	2016-07-05T2-29-3_Mw_4,9	-20.162	-71.008	4.9
EV_257	2016-07-06T22-59-10_Mw_4,6	-20.431	-69.315	4.6
EV_258	2016-07-11T13-27-36_Mw_5,1	-30.687	-71.268	5.1
EV_259	2014-04-07T13-43-20_Mw_6,1	-20.131	-70.905	6.1
EV_260	2016-07-18T2-58-51_Mw_5,2	-30.737	-71.702	5.2
EV_261	2016-07-18T8-59-44_Mw_5,1	-30.425	-71.602	5.1
EV_262	2016-07-19T5-18-38_Mw_5,4	-30.183	-72.208	5.4
EV_263	2016-07-25T12-8-35_Mw_4,9	-33.409	-70.301	4.9
EV_264	2016-07-25T14-59-29_Mw_4,8	-30.799	-71.444	4.8
EV_265	2016-07-25T17-26-49_Mw_6,0	-26.112	-70.485	6
EV_266	2016-07-26T23-0-24_Mw_4,9	-32.697	-71.744	4.9
EV_267	2016-07-29T16-52-15_Mw_4,7	-31.594	-71.448	4.7

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_268	2016-08-04T14-15-11_Mw_6,0	-22.434	-66.203	6
EV_269	2014-04-07T13-47-34_Mw_5,0	-20.135	-70.921	5
EV_270	2016-08-08T12-24-32_Mw_4,7	-31.643	-71.607	4.7
EV_271	2016-08-08T16-8-15_Mw_5,0	-24.123	-68.233	5
EV_272	2016-08-10T8-20-17_Mw_4,9	-32.079	-71.251	4.9
EV_273	2016-08-14T13-28-43_Mw_5,1	-20.215	-69.27	5.1
EV_274	2016-08-16T2-58-38_Mw_5,1	-22.466	-68.794	5.1
EV_275	2014-04-07T14-3-44_Mw_5,0	-20.136	-70.9	5
EV_276	2016-08-19T5-59-24_Mw_4,6	-20.594	-68.92	4.6
EV_277	2016-08-28T16-32-4_Mw_4,6	-27.68	-71.226	4.6
EV_278	2016-08-30T8-9-7_Mw_5,1	-34.866	-72.577	5.1
EV_279	2016-09-07T20-3-23_Mw_5,3	-20.046	-69.087	5.3
EV_280	2016-09-20T13-24-43_Mw_5,1	-23.578	-68.195	5.1
EV_281	2016-09-25T1-23-47_Mw_4,9	-30.358	-71.646	4.9
EV_282	2014-04-07T17-46-33_Mw_4,7	-20.135	-70.374	4.7
EV_283	2016-10-05T6-17-25_Mw_4,6	-29.288	-70.305	4.6
EV_284	2016-10-07T23-59-29_Mw_4,9	-30.995	-71.302	4.9
EV_285	2016-10-12T1-59-22_Mw_5,0	-30.691	-71.383	5
EV_286	2016-10-25T7-18-22_Mw_4,9	-26.748	-71.07	4.9
EV_287	2016-10-30T4-49-40_Mw_5,4	-25.184	-70.392	5.4
EV_288	2016-10-31T5-44-33_Mw_5,1	-22.427	-68.636	5.1
EV_289	2016-11-03T12-44-3_Mw_5,0	-19.336	-69.35	5
EV_290	2016-11-04T16-20-45_Mw_6,4	-35.064	-71.003	6.4
EV_291	2014-04-07T6-24-24_Mw_4,7	-20.637	-70.872	4.7
EV_292	2014-04-08T1-3-2_Mw_5,0	-19.768	-70.481	5
EV_293	2016-11-08T14-13-58_Mw_4,9	-25.432	-70.035	4.9
EV_294	2016-11-08T7-8-1_Mw_5,1	-36.663	-73.61	5.1
EV_295	2014-04-08T5-20-22_Mw_5,1	-19.875	-70.865	5.1
EV_296	2016-11-20T20-57-42_Mw_6,6	-31.649	-68.662	6.6
EV_297	2016-11-30T13-14-11_Mw_4,9	-21.072	-68.697	4.9

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_298	2016-12-03T4-30-58_Mw_4,8	-32.158	-71.879	4.8
EV_299	2016-12-08T20-42-36_Mw_5,5	-31.548	-71.798	5.5
EV_300	2013-01-01T3-51-12_Mw_5,1	-20.81	-69.67	5.1
EV_301	2016-12-12T1-40-25_Mw_5,3	-30.94	-71.34	5.3
EV_302	2016-12-16T23-11-42_Mw_5,2	-30.403	-71.647	5.2
EV_303	2014-04-08T5-40-48_Mw_4,6	-20.512	-70.654	4.6
EV_304	2016-12-19T15-36-46_Mw_4,9	-30.798	-71.438	4.9
EV_305	2016-12-25T14-1-34_Mw_5,3	-19.972	-68.869	5.3
EV_306	2017-01-03T13-41-53_Mw_5,1	-19.914	-70.451	5.1
EV_307	2014-04-09T11-14-44_Mw_5,0	-20.616	-70.923	5
EV_308	2017-01-03T21-19-8_Mw_5,7	-43.405	-74.559	5.7
EV_309	2017-01-04T13-24-4_Mw_5,1	-30.305	-71.527	5.1
EV_310	2014-04-09T11-6-14_Mw_4,9	-20.784	-70.806	4.9
EV_311	2017-01-06T6-30-33_Mw_6,1	-22.306	-67.919	6.1
EV_312	2017-01-10T14-59-49_Mw_4,9	-31.335	-70.939	4.9
EV_313	2014-04-09T7-49-23_Mw_4,6	-19.869	-70.937	4.6
EV_314	2014-04-10T0-10-34_Mw_4,7	-20.336	-70.871	4.7
EV_315	2017-01-11T21-58-18_Mw_5,8	-22.788	-69.829	5.8
EV_316	2017-01-12T19-23-57_Mw_4,7	-30.402	-71.486	4.7
EV_317	2017-01-19T12-1-50_Mw_5,0	-30.849	-71.367	5
EV_318	2017-01-28T1-27-29_Mw_5,0	-19.95	-70.012	5
EV_319	2014-04-11T0-1-44_Mw_6,2	-20.717	-70.649	6.2
EV_320	2017-01-28T13-39-4_Mw_4,7	-26.664	-70.962	4.7
EV_321	2017-02-16T0-19-20_Mw_4,6	-30.045	-71.298	4.6
EV_322	2017-02-18T12-10-16_Mw_6,5	-23.912	-67.257	6.5
EV_323	2013-01-13T21-23-27_Mw_5,5	-20.116	-69.315	5.5
EV_324	2017-02-25T2-31-25_Mw_5,4	-19.457	-69.153	5.4
EV_325	2017-02-26T8-59-16_Mw_4,8	-28.948	-71.3	4.8
EV_326	2017-03-13T15-5-55_Mw_5,3	-30.438	-71.334	5.3
EV_327	2017-03-17T8-2-57_Mw_5,0	-32.46	-71.672	5

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_328	2017-03-21T15-1-59_Mw_5,1	-21.622	-68.477	5.1
EV_329	2017-03-25T6-59-23_Mw_5,0	-19.849	-68.999	5
EV_330	2017-03-31T18-44-39_Mw_5,0	-30.738	-71.354	5
EV_331	2017-04-09T3-5-29_Mw_5,2	-25.78	-69.561	5.2
EV_332	2017-04-11T13-39-43_Mw_5,3	-27.636	-70.046	5.3
EV_333	2014-04-11T12-0-52_Mw_5,3	-20.082	-70.51	5.3
EV_334	2017-04-13T3-42-51_Mw_5,3	-30.968	-71.421	5.3
EV_335	2017-04-14T18-3-24_Mw_5,2	-22.489	-68.818	5.2
EV_336	2017-04-15T8-19-43_Mw_6,2	-23.236	-68.045	6.2
EV_337	2017-04-23T19-40-10_Mw_5,4	-33.053	-72.156	5.4
EV_338	2017-04-23T2-36-6_Mw_6,0	-33.023	-72.12	6
EV_339	2017-04-23T2-42-17_Mw_4,7	-33.092	-71.885	4.7
EV_340	2017-04-23T2-52-38_Mw_4,7	-33.05	-72.003	4.7
EV_341	2017-04-23T3-2-17_Mw_4,7	-33.073	-72.024	4.7
EV_342	2017-04-24T21-38-28_Mw_6,9	-33.085	-72.094	6.9
EV_343	2014-04-11T8-39-46_Mw_4,6	-20.55	-70.811	4.6
EV_344	2017-04-24T21-45-58_Mw_5,5	-32.416	-72.662	5.5
EV_345	2017-04-24T22-50-30_Mw_4,6	-33.113	-72.026	4.6
EV_346	2017-04-24T23-54-45_Mw_4,8	-33.292	-71.934	4.8
EV_347	2017-04-25T0-17-36_Mw_4,6	-33.17	-72.042	4.6
EV_348	2017-04-25T1-43-3_Mw_5,1	-33.161	-72.093	5.1
EV_349	2014-04-11T8-55-56_Mw_5,0	-19.941	-70.927	5
EV_350	2017-04-25T3-2-23_Mw_4,9	-33.16	-72.08	4.9
EV_351	2017-04-26T18-12-32_Mw_5,3	-19.687	-69.296	5.3
EV_352	2017-04-27T5-9-22_Mw_4,8	-33.309	-71.903	4.8
EV_353	2017-04-27T8-24-41_Mw_4,7	-33.276	-71.892	4.7
EV_354	2017-04-28T15-30-5_Mw_5,5	-33.259	-72.115	5.5
EV_355	2013-01-30T20-15-41_Mw_6,7	-28.178	-70.882	6.7
EV_356	2017-04-28T15-49-44_Mw_4,7	-33.308	-71.913	4.7
EV_357	2017-04-28T15-58-34_Mw_5,1	-33.259	-72.049	5.1

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_358	2017-04-28T16-5-57_Mw_5,8	-33.169	-71.661	5.8
EV_359	2014-04-13T12-11-31_Mw_5,2	-20.584	-70.718	5.2
EV_360	2017-04-28T17-41-50_Mw_5,0	-33.305	-71.977	5
EV_361	2017-04-29T1-46-1_Mw_4,7	-33.229	-71.982	4.7
EV_362	2017-04-30T9-36-3_Mw_4,8	-19.99	-70.969	4.8
EV_363	2017-05-05T6-50-56_Mw_4,8	-28.718	-71.554	4.8
EV_364	2017-05-13T16-54-46_Mw_5,2	-32.931	-72.044	5.2
EV_365	2017-05-14T19-44-25_Mw_5,9	-20.84	-68.732	5.9
EV_366	2014-04-14T5-56-18_Mw_4,9	-20.732	-70.789	4.9
EV_367	2017-05-28T12-5-47_Mw_4,6	-30.721	-71.387	4.6
EV_368	2013-03-02T11-42-2_Mw_5,1	-22.851	-70.375	5.1
EV_369	2017-05-29T14-57-55_Mw_5,8	-37.335	-71.804	5.8
EV_370	2017-06-03T22-21-44_Mw_5,2	-21.872	-68.77	5.2
EV_371	2014-04-15T16-21-17_Mw_5,3	-20.189	-70.827	5.3
EV_372	2017-06-04T0-7-28_Mw_4,7	-27.839	-71.069	4.7
EV_373	2017-06-06T17-35-10_Mw_5,5	-22.927	-68.755	5.5
EV_374	2017-06-08T13-48-52_Mw_5,0	-22.088	-70.109	5
EV_375	2017-06-12T11-27-6_Mw_4,6	-33.084	-71.756	4.6
EV_376	2017-06-12T2-43-27_Mw_5,8	-31.523	-71.668	5.8
EV_377	2017-06-16T9-47-0_Mw_4,6	-30.95	-70.983	4.6
EV_378	2017-06-23T10-0-52_Mw_5,0	-39.405	-71.822	5
EV_379	2017-06-26T14-44-50_Mw_5,3	-30.658	-71.257	5.3
EV_380	2014-04-15T16-9-34_Mw_5,3	-20.204	-70.858	5.3
EV_381	2014-04-16T3-14-11_Mw_5,3	-20.178	-70.853	5.3
EV_382	2017-06-29T8-16-51_Mw_4,8	-34.753	-71.766	4.8
EV_383	2017-07-02T15-52-58_Mw_5,5	-21.885	-68.644	5.5
EV_384	2017-07-04T2-25-26_Mw_5,0	-19.403	-69.582	5
EV_385	2017-07-07T3-4-49_Mw_5,1	-33.775	-72.153	5.1
EV_386	2014-04-19T20-54-41_Mw_5,3	-19.965	-71.113	5.3
EV_387	2017-07-12T9-8-16_Mw_5,1	-35.305	-73.375	5.1

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_388	2017-07-19T23-22-28_Mw_5,4	-23.836	-69.202	5.4
EV_389	2017-07-22T6-29-50_Mw_5,4	-21.177	-69.152	5.4
EV_390	2014-04-21T13-39-8_Mw_5,2	-19.677	-70.963	5.2
EV_391	2017-08-01T6-13-55_Mw_5,6	-28.537	-69.293	5.6
EV_392	2013-07-10T14-32-12_Mw_5,7	-19.367	-69.522	5.7
EV_393	2017-08-02T20-3-29_Mw_5,4	-28.481	-71.214	5.4
EV_394	2014-04-23T18-15-16_Mw_4,6	-25.781	-70.764	4.6
EV_395	2017-08-02T7-15-13_Mw_5,5	-33.201	-70.614	5.5
EV_396	2014-04-24T4-56-50_Mw_4,9	-20.09	-70.906	4.9
EV_397	2014-04-25T3-1-38_Mw_4,6	-20.277	-70.984	4.6
EV_398	2017-08-12T12-54-13_Mw_5,5	-30.336	-72.152	5.5
EV_399	2017-08-12T15-59-31_Mw_5,0	-19.992	-70.989	5
EV_400	2017-08-14T6-58-32_Mw_4,8	-31.496	-71.734	4.8
EV_401	2017-08-15T19-3-24_Mw_5,2	-30.009	-72.092	5.2
EV_402	2014-04-28T4-59-36_Mw_5,0	-19.562	-70.374	5
EV_403	2017-08-21T12-2-24_Mw_4,7	-33.144	-70.338	4.7
EV_404	2017-08-30T3-15-37_Mw_5,0	-37.469	-73.352	5
EV_405	2017-09-04T21-55-20_Mw_5,2	-19.288	-70.081	5.2
EV_406	2017-09-09T12-3-42_Mw_5,3	-22.46	-66.822	5.3
EV_407	2017-09-18T13-46-57_Mw_5,7	-31.847	-72.087	5.7
EV_408	2017-09-20T17-51-40_Mw_4,7	-18.047	-69.932	4.7
EV_409	2017-09-23T22-2-2_Mw_4,9	-33.779	-71.503	4.9
EV_410	2017-09-24T2-30-0_Mw_4,8	-27.967	-71.171	4.8
EV_411	2017-09-25T13-55-27_Mw_4,6	-32.683	-71.99	4.6
EV_412	2017-09-25T7-27-11_Mw_4,7	-30.114	-71.432	4.7
EV_413	2014-05-04T4-46-48_Mw_4,9	-20.011	-71.055	4.9
EV_414	2017-10-05T8-11-37_Mw_5,8	-22.368	-68.544	5.8
EV_415	2017-10-10T6-32-20_Mw_6,3	-18.489	-69.739	6.3
EV_416	2014-05-05T11-21-18_Mw_5,1	-20.196	-70.743	5.1
EV_417	2014-05-05T13-38-32_Mw_5,1	-20.225	-68.194	5.1

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_418	2017-10-10T7-21-43_Mw_4,9	-18.571	-69.774	4.9
EV_419	2017-10-29T22-58-58_Mw_4,6	-31.053	-71.36	4.6
EV_420	2017-11-07T8-11-17_Mw_5,1	-22.137	-68.663	5.1
EV_421	2017-11-09T7-36-58_Mw_5,0	-30.698	-71.365	5
EV_422	2012-03-10T2-26-57_Mw_5,3	-19.738	-69.25	5.3
EV_423	2013-08-15T10-26-46_Mw_4,9	-32.514	-71.642	4.9
EV_424	2014-05-05T9-2-56_Mw_4,7	-19.279	-71.027	4.7
EV_425	2017-11-17T16-45-47_Mw_5,3	-19.789	-69.283	5.3
EV_426	2014-05-09T11-44-51_Mw_4,8	-34.714	-71.689	4.8
EV_427	2017-11-18T10-1-28_Mw_5,0	-20.749	-69.132	5
EV_428	2017-11-26T22-15-13_Mw_5,4	-32.235	-71.025	5.4
EV_429	2017-11-27T19-19-33_Mw_5,0	-17.625	-69.46	5
EV_430	2017-12-11T19-0-57_Mw_5,3	-19.658	-71.147	5.3
EV_431	2017-12-14T18-10-34_Mw_4,6	-19.837	-70.244	4.6
EV_432	2014-05-16T17-8-32_Mw_5,5	-23.493	-68.859	5.5
EV_433	2017-12-19T13-14-36_Mw_4,7	-26.055	-70.432	4.7
EV_434	2013-08-23T8-34-5_Mw_5,7	-22.278	-68.855	5.7
EV_435	2017-12-30T8-20-51_Mw_5,1	-19.28	-69.36	5.1
EV_436	2014-05-17T10-18-0_Mw_4,6	-19.96	-70.977	4.6
EV_437	2018-01-10T3-16-44_Mw_4,7	-18.222	-69.568	4.7
EV_438	2018-01-20T11-31-14_Mw_5,2	-28.983	-71.743	5.2
EV_439	2014-05-17T9-11-7_Mw_5,5	-20.001	-70.967	5.5
EV_440	2018-01-21T1-6-40_Mw_6,2	-18.883	-69.614	6.2
EV_441	2018-01-24T7-46-6_Mw_5,3	-20.308	-69.11	5.3
EV_442	2014-05-21T9-0-53_Mw_5,6	-30.452	-71.311	5.6
EV_443	2018-01-28T10-11-29_Mw_5,1	-28.201	-69.39	5.1
EV_444	2018-01-28T23-53-15_Mw_5,5	-31.268	-69.265	5.5
EV_445	2018-02-01T23-13-54_Mw_5,2	-31.559	-70.302	5.2
EV_446	2018-02-04T21-47-26_Mw_5,0	-17.286	-70.855	5
EV_447	2018-02-16T11-50-33_Mw_4,9	-29.371	-69.637	4.9

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_448	2018-02-20T9-38-59_Mw_5,3	-25.344	-70.498	5.3
EV_449	2018-02-21T1-7-10_Mw_4,9	-18.952	-69.354	4.9
EV_450	2018-02-23T18-49-22_Mw_4,6	-34.517	-72.239	4.6
EV_451	2018-03-04T15-36-23_Mw_4,7	-30.872	-71.171	4.7
EV_452	2018-03-04T16-16-32_Mw_5,1	-20.445	-68.653	5.1
EV_453	2018-03-07T22-33-1_Mw_4,8	-30.704	-71.361	4.8
EV_454	2014-05-27T3-34-41_Mw_4,7	-20.859	-70.47	4.7
EV_455	2014-05-30T11-41-38_Mw_5,3	-21.309	-69.974	5.3
EV_456	2018-03-17T20-34-22_Mw_4,8	-18.786	-69.148	4.8
EV_457	2018-03-19T12-51-17_Mw_5,1	-32.388	-69.753	5.1
EV_458	2018-04-02T22-37-12_Mw_4,7	-31.665	-71.723	4.7
EV_459	2018-04-05T11-12-12_Mw_5,4	-20.287	-70.526	5.4
EV_460	2018-04-05T6-32-43_Mw_5,0	-42.623	-73.932	5
EV_461	2018-04-10T10-19-33_Mw_6,2	-31.004	-71.54	6.2
EV_462	2014-05-30T11-41-39_Mw_5,2	-21.313	-69.981	5.2
EV_463	2018-04-14T4-4-40_Mw_4,6	-31.769	-71.605	4.6
EV_464	2018-04-17T13-46-5_Mw_5,0	-21.463	-68.814	5
EV_465	2018-04-23T6-0-35_Mw_5,0	-22.374	-68.649	5
EV_466	2018-04-26T5-32-48_Mw_5,3	-30.618	-71.175	5.3
EV_467	2013-09-07T19-13-31_Mw_5,2	-19.617	-69.299	5.2
EV_468	2014-05-30T15-32-27_Mw_5,5	-21.302	-69.999	5.5
EV_469	2018-05-02T16-9-54_Mw_5,1	-33.255	-70.106	5.1
EV_470	2018-05-02T9-15-18_Mw_4,7	-20.144	-69.165	4.7
EV_471	2018-05-04T20-25-33_Mw_5,0	-29.824	-71.378	5
EV_472	2018-05-19T6-43-40_Mw_4,8	-32.203	-71.381	4.8
EV_473	2014-05-30T15-32-28_Mw_5,5	-21.302	-69.999	5.5
EV_474	2018-05-22T10-40-57_Mw_4,7	-21.285	-68.731	4.7
EV_475	2018-05-28T20-59-35_Mw_5,2	-31.239	-68.959	5.2
EV_476	2018-05-29T1-16-11_Mw_4,9	-20.166	-69.044	4.9
EV_477	2018-06-12T22-23-26_Mw_4,9	-20.779	-69.197	4.9

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_478	2018-06-21T16-8-2_Mw_6,1	-24.249	-67.475	6.1
EV_479	2018-06-22T4-41-0_Mw_4,9	-28.791	-70.715	4.9
EV_480	2018-06-26T2-5-18_Mw_4,6	-32.158	-71.734	4.6
EV_481	2018-06-26T4-32-11_Mw_4,8	-30.384	-71.686	4.8
EV_482	2018-07-02T9-29-51_Mw_5,1	-23.218	-68.909	5.1
EV_483	2018-08-04T1-2-25_Mw_5,3	-19.639	-69.477	5.3
EV_484	2018-08-14T5-32-35_Mw_4,6	-19.624	-69.303	4.6
EV_485	2014-05-30T22-6-18_Mw_5,1	-33.536	-72.25	5.1
EV_486	2018-08-23T9-44-3_Mw_4,9	-17.269	-69.659	4.9
EV_487	2018-08-27T9-16-3_Mw_5,1	-29.73	-71.481	5.1
EV_488	2018-08-28T4-51-40_Mw_5,1	-29.704	-71.304	5.1
EV_489	2014-06-04T17-4-29_Mw_4,9	-20.645	-70.79	4.9
EV_490	2018-08-30T21-43-39_Mw_5,0	-32.401	-71.229	5
EV_491	2014-06-05T20-19-29_Mw_5,0	-20.343	-70.224	5
EV_492	2013-09-29T23-6-59_Mw_5,2	-37.469	-73.753	5.2
EV_493	2018-08-31T13-25-0_Mw_5,2	-32.234	-70.489	5.2
EV_494	2014-06-05T20-19-31_Mw_5,0	-20.356	-70.22	5
EV_495	2018-09-02T11-4-12_Mw_4,6	-29.395	-71.199	4.6
EV_496	2018-09-04T0-20-8_Mw_4,7	-39.794	-71.764	4.7
EV_497	2018-09-05T20-16-41_Mw_5,0	-34.384	-70.591	5
EV_498	2018-09-07T2-39-17_Mw_6,1	-28.906	-70.169	6.1
EV_499	2014-06-07T13-55-18_Mw_4,6	-35.201	-71.791	4.6
EV_500	2018-09-07T23-12-49_Mw_4,9	-30.433	-70.004	4.9
EV_501	2018-09-10T8-24-15_Mw_5,0	-28.818	-71.523	5
EV_502	2014-06-12T12-28-53_Mw_5,1	-30.745	-70.564	5.1
EV_503	2018-09-19T18-42-22_Mw_5,2	-19.537	-70.375	5.2
EV_504	2018-09-22T13-14-1_Mw_5,3	-26.075	-70.494	5.3
EV_505	2012-03-19T21-52-39_Mw_5,0	-25.005	-69.752	5
EV_506	2018-09-23T5-32-11_Mw_5,6	-24.362	-70.042	5.6
EV_507	2018-10-12T1-58-51_Mw_4,6	-34.731	-71.829	4.6

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_508	2014-06-16T9-17-46_Mw_5,0	-23.97	-69.564	5
EV_509	2018-10-18T15-47-53_Mw_4,7	-17.908	-70.021	4.7
EV_510	2014-06-19T19-54-5_Mw_6,0	-19.815	-70.941	6
EV_511	2018-10-25T11-19-34_Mw_4,9	-30.638	-71.741	4.9
EV_512	2018-11-01T22-19-52_Mw_6,3	-19.649	-69.409	6.3
EV_513	2018-11-01T22-53-4_Mw_4,6	-27.224	-71.208	4.6
EV_514	2018-11-06T8-31-1_Mw_4,8	-19.732	-69.394	4.8
EV_515	2018-11-09T18-54-9_Mw_5,2	-30.677	-71.746	5.2
EV_516	2014-06-19T19-59-42_Mw_5,0	-19.84	-70.889	5
EV_517	2018-11-21T11-42-59_Mw_4,9	-31.596	-71.439	4.9
EV_518	2018-12-01T23-55-24_Mw_5,2	-33.926	-72.472	5.2
EV_519	2014-06-20T19-53-32_Mw_5,2	-19.771	-70.941	5.2
EV_520	2018-12-05T17-12-14_Mw_5,3	-33.693	-71.5	5.3
EV_521	2013-10-29T3-40-49_Mw_5,0	-30.705	-71.279	5
EV_522	2018-12-06T5-24-14_Mw_4,6	-30.718	-71.408	4.6
EV_523	2018-12-07T9-44-18_Mw_4,8	-29.006	-70.363	4.8
EV_524	2014-06-20T20-22-29_Mw_5,4	-19.761	-71.037	5.4
EV_525	2018-12-11T5-33-12_Mw_5,1	-20.987	-69.951	5.1
EV_526	2018-12-13T4-4-29_Mw_4,8	-27.67	-69.291	4.8
EV_527	2018-12-15T12-12-49_Mw_4,7	-19.88	-71.009	4.7
EV_528	2018-12-16T0-4-13_Mw_4,7	-30.653	-71.626	4.7
EV_529	2018-12-16T16-27-22_Mw_5,0	-23.439	-69.359	5
EV_530	2018-12-31T10-49-41_Mw_5,6	-31.816	-69.8	5.6
EV_531	2019-01-06T20-25-38_Mw_5,0	-19.598	-69.674	5
EV_532	2014-07-03T2-50-19_Mw_5,0	-34.758	-71.835	5
EV_533	2019-01-07T13-43-31_Mw_4,9	-19.607	-69.132	4.9
EV_534	2019-01-20T1-32-51_Mw_6,7	-30.276	-71.364	6.7
EV_535	2014-07-08T16-4-20_Mw_4,6	-20.777	-70.521	4.6
EV_536	2019-01-20T9-23-33_Mw_4,7	-29.973	-71.947	4.7
EV_537	2014-07-13T20-54-14_Mw_5,6	-20.238	-70.309	5.6

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_538	2019-01-24T10-28-28_Mw_5,0	-30.174	-71.215	5
EV_539	2019-01-28T9-0-47_Mw_5,0	-35.616	-72.974	5
EV_540	2019-01-30T7-44-43_Mw_5,5	-25.871	-70.622	5.5
EV_541	2019-02-03T2-56-42_Mw_5,0	-31.411	-71.744	5
EV_542	2019-02-06T17-56-50_Mw_5,0	-19.893	-71.139	5
EV_543	2019-02-22T9-25-58_Mw_4,8	-30.779	-70.895	4.8
EV_544	2019-02-25T15-28-44_Mw_5,3	-29.781	-71.648	5.3
EV_545	2013-10-31T23-3-58_Mw_6,5	-30.372	-71.501	6.5
EV_546	2019-02-25T22-54-31_Mw_4,6	-29.677	-71.285	4.6
EV_547	2019-02-26T8-47-26_Mw_4,7	-30.231	-71.261	4.7
EV_548	2019-03-01T22-43-26_Mw_5,3	-30.629	-71.699	5.3
EV_549	2019-03-07T15-34-30_Mw_5,7	-29.624	-72.485	5.7
EV_550	2014-07-13T3-16-51_Mw_5,0	-32.93	-71.34	5
EV_551	2019-03-07T5-50-37_Mw_4,8	-18.872	-69.642	4.8
EV_552	2019-03-09T2-16-58_Mw_4,9	-30.24	-71.318	4.9
EV_553	2014-07-13T7-18-24_Mw_5,7	-30.736	-70.665	5.7
EV_554	2019-03-10T13-8-2_Mw_4,8	-25.778	-70.442	4.8
EV_555	2019-03-16T18-6-15_Mw_5,2	-29.769	-71.419	5.2
EV_556	2019-03-25T10-52-40_Mw_4,9	-21.338	-70.14	4.9
EV_557	2019-03-27T3-57-10_Mw_4,6	-18.441	-69.588	4.6
EV_558	2014-07-13T7-18-25_Mw_5,6	-30.748	-70.62	5.6
EV_559	2019-03-28T15-5-32_Mw_5,5	-24.603	-70.124	5.5
EV_560	2019-04-04T12-0-8_Mw_4,7	-30.251	-71.201	4.7
EV_561	2019-04-06T21-33-2_Mw_4,9	-30.065	-71.265	4.9
EV_562	2014-07-18T5-24-9_Mw_4,7	-20.148	-70.991	4.7
EV_563	2014-07-21T0-21-28_Mw_4,7	-20.153	-70.541	4.7
EV_564	2019-04-08T6-39-42_Mw_4,6	-32.142	-71.542	4.6
EV_565	2019-04-16T0-54-12_Mw_4,7	-27.888	-71.367	4.7
EV_566	2019-04-18T4-6-33_Mw_5,7	-29.378	-71.63	5.7
EV_567	2014-07-23T21-39-8_Mw_5,5	-20.238	-68.74	5.5

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_568	2019-04-19T21-37-41_Mw_5,0	-20.335	-69.133	5
EV_569	2019-04-21T10-0-11_Mw_5,2	-35.777	-71.846	5.2
EV_570	2019-04-24T18-57-33_Mw_5,3	-21.488	-68.521	5.3
EV_571	2019-04-24T6-24-33_Mw_5,0	-21.493	-69.783	5
EV_572	2019-04-26T6-22-35_Mw_5,6	-26.004	-70.752	5.6
EV_573	2019-04-28T10-25-25_Mw_4,7	-24.089	-70.715	4.7
EV_574	2019-04-28T12-3-2_Mw_4,8	-32.2	-71.865	4.8
EV_575	2019-05-16T0-32-13_Mw_5,0	-31.498	-69.703	5
EV_576	2019-05-16T14-32-50_Mw_5,2	-17.88	-70.308	5.2
EV_577	2019-05-17T14-16-24_Mw_5,0	-19.75	-70.278	5
EV_578	2019-05-20T11-18-32_Mw_5,6	-31.487	-70.235	5.6
EV_579	2014-07-29T0-47-18_Mw_4,6	-20.132	-70.478	4.6
EV_580	2019-05-21T19-25-12_Mw_4,6	-30.495	-71.244	4.6
EV_581	2019-05-22T4-23-12_Mw_4,8	-40.476	-72.939	4.8
EV_582	2019-05-30T3-34-56_Mw_5,0	-23.464	-68.868	5
EV_583	2019-06-03T4-22-25_Mw_5,1	-32.744	-71.4	5.1
EV_584	2014-07-31T20-40-51_Mw_4,7	-31.812	-71.235	4.7
EV_585	2019-06-03T8-42-13_Mw_5,2	-19.644	-70.421	5.2
EV_586	2012-03-24T7-28-33_Mw_5,2	-33.052	-71.063	5.2
EV_587	2014-08-16T10-10-49_Mw_4,7	-20.028	-71.018	4.7
EV_588	2019-06-04T10-33-39_Mw_4,6	-32.157	-71.75	4.6
EV_589	2019-06-05T16-19-42_Mw_5,4	-27.414	-70.234	5.4
EV_590	2014-08-16T9-42-58_Mw_4,7	-21.742	-69.137	4.7
EV_591	2019-06-11T5-0-54_Mw_4,6	-18.928	-70.337	4.6
EV_592	2014-08-23T22-32-23_Mw_6,4	-32.737	-71.498	6.4
EV_593	2019-06-13T16-12-31_Mw_4,8	-28.808	-71.045	4.8
EV_594	2019-06-13T22-50-11_Mw_4,9	-30.44	-71.334	4.9
EV_595	2019-06-14T0-19-11_Mw_6,3	-30.082	-72.197	6.3
EV_596	2019-06-20T1-23-27_Mw_5,5	-33.586	-69.311	5.5
EV_597	2019-06-28T8-30-41_Mw_5,1	-29.36	-70.839	5.1

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_598	2019-07-12T7-24-39_Mw_4,7	-20.767	-70.423	4.7
EV_599	2019-08-01T18-28-3_Mw_6,6	-34.285	-72.509	6.6
EV_600	2019-08-01T20-1-28_Mw_5,4	-34.315	-72.423	5.4
EV_601	2019-08-02T0-55-17_Mw_5,4	-34.167	-72.12	5.4
EV_602	2019-08-09T2-9-36_Mw_5,1	-32.142	-70.962	5.1
EV_603	2019-08-10T17-16-4_Mw_4,7	-31.765	-71.385	4.7
EV_604	2019-08-12T8-17-50_Mw_4,9	-20.709	-69.219	4.9
EV_605	2019-08-15T14-23-42_Mw_4,7	-29.966	-72.021	4.7
EV_606	2019-08-24T2-33-0_Mw_5,3	-31.112	-71.39	5.3
EV_607	2019-08-24T23-36-35_Mw_4,8	-43.241	-74.178	4.8
EV_608	2019-08-28T12-43-44_Mw_5,2	-23.131	-69.227	5.2
EV_609	2019-08-28T15-53-3_Mw_4,9	-20.558	-70.355	4.9
EV_610	2019-09-25T19-43-24_Mw_5,3	-27.821	-66.755	5.3
EV_611	2019-09-26T16-36-17_Mw_6,0	-40.831	-72.288	6
EV_612	2019-09-26T20-31-29_Mw_5,4	-29.877	-71.305	5.4
EV_613	2014-08-23T4-45-33_Mw_5,7	-20.189	-69.076	5.7
EV_614	2019-09-29T15-57-53_Mw_6,6	-35.467	-73.181	6.6
EV_615	2019-09-30T11-53-23_Mw_5,6	-22.186	-68.82	5.6
EV_616	2019-10-06T10-40-55_Mw_5,7	-21.903	-68.615	5.7
EV_617	2019-10-11T2-55-41_Mw_4,9	-29.25	-71.725	4.9
EV_618	2019-10-31T22-9-14_Mw_4,6	-32.362	-71.391	4.6
EV_619	2019-11-03T13-23-16_Mw_5,5	-29.197	-67.853	5.5
EV_620	2019-11-03T8-6-10_Mw_5,3	-30.731	-72.106	5.3
EV_621	2019-11-04T21-53-24_Mw_6,1	-31.814	-71.339	6.1
EV_622	2019-11-10T7-21-31_Mw_4,8	-28.327	-70.562	4.8
EV_623	2019-11-15T17-16-43_Mw_4,9	-34.058	-72.282	4.9
EV_624	2019-11-22T22-27-32_Mw_5,3	-32.724	-70.174	5.3
EV_625	2014-09-04T9-26-52_Mw_5,1	-20.702	-70.343	5.1
EV_626	2019-11-26T9-31-47_Mw_4,8	-28.53	-71.343	4.8
EV_627	2019-11-29T11-6-5_Mw_5,1	-21.341	-68.926	5.1

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_628	2019-11-29T21-7-8_Mw_4,7	-32.732	-71.774	4.7
EV_629	2019-12-03T7-29-31_Mw_5,2	-20.875	-70.841	5.2
EV_630	2019-12-03T8-46-34_Mw_6,0	-18.53	-70.717	6
EV_631	2019-12-09T5-4-14_Mw_4,9	-32.094	-70.533	4.9
EV_632	2019-12-18T8-11-5_Mw_5,2	-20.245	-69.155	5.2
EV_633	2020-01-01T16-51-31_Mw_4,9	-30.281	-71.555	4.9
EV_634	2020-01-08T8-47-46_Mw_5,2	-20.432	-68.927	5.2
EV_635	2020-01-10T20-48-4_Mw_4,9	-30.838	-71.359	4.9
EV_636	2014-09-15T6-35-19_Mw_4,6	-31.973	-71.241	4.6
EV_637	2020-01-12T11-20-30_Mw_4,9	-20.857	-70.17	4.9
EV_638	2020-01-13T2-1-42_Mw_4,7	-40.253	-71.516	4.7
EV_639	2020-01-13T8-12-39_Mw_5,0	-26.237	-70.605	5
EV_640	2020-01-14T1-57-30_Mw_5,1	-21.729	-68.481	5.1
EV_641	2020-01-16T13-12-57_Mw_4,8	-19.886	-69.236	4.8
EV_642	2020-01-19T7-33-42_Mw_4,6	-41.73	-74.166	4.6
EV_643	2014-09-18T3-42-54_Mw_4,8	-18.759	-70.069	4.8
EV_644	2020-01-24T5-13-49_Mw_5,2	-17.463	-71.088	5.2
EV_645	2020-02-08T6-17-58_Mw_5,2	-20.838	-68.701	5.2
EV_646	2020-02-13T17-8-39_Mw_5,0	-29.685	-71.427	5
EV_647	2014-09-19T10-22-55_Mw_4,8	-35.655	-73.056	4.8
EV_648	2020-02-18T21-41-40_Mw_4,7	-20.754	-69.318	4.7
EV_649	2020-02-23T1-12-35_Mw_5,0	-30.438	-71.626	5
EV_650	2020-02-26T20-21-32_Mw_4,8	-30.989	-71.344	4.8
EV_651	2020-02-27T1-36-59_Mw_5,0	-29.517	-71.06	5
EV_652	2020-03-02T23-7-53_Mw_4,8	-18.203	-70.406	4.8
EV_653	2014-09-24T11-16-14_Mw_6,3	-23.623	-67.16	6.3
EV_654	2020-03-05T6-57-44_Mw_5,3	-28.436	-67.88	5.3
EV_655	2020-03-17T8-12-1_Mw_5,6	-36.192	-73.287	5.6
EV_656	2020-03-24T6-52-18_Mw_4,9	-30.629	-71.574	4.9
EV_657	2020-04-02T2-30-45_Mw_4,9	-26.192	-70.539	4.9

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_658	2014-09-28T8-46-33_Mw_5,4	-35.623	-73.209	5.4
EV_659	2020-04-03T20-17-19_Mw_4,7	-30.639	-71.745	4.7
EV_660	2020-04-03T8-48-1_Mw_4,9	-29.074	-71.508	4.9
EV_661	2013-12-04T5-39-33_Mw_5,5	-24.578	-69.295	5.5
EV_662	2020-04-06T1-54-38_Mw_4,6	-29.558	-71.411	4.6
EV_663	2020-04-09T14-6-52_Mw_4,8	-18.226	-69.508	4.8
EV_664	2020-04-14T12-4-30_Mw_5,2	-25.813	-69.353	5.2
EV_665	2020-04-14T16-2-10_Mw_5,1	-33.876	-70.516	5.1
EV_666	2020-04-15T9-18-51_Mw_4,6	-19.628	-70.382	4.6
EV_667	2020-04-25T5-53-58_Mw_4,9	-27.912	-71.3	4.9
EV_668	2020-05-04T2-26-58_Mw_4,6	-20.526	-69.212	4.6
EV_669	2014-10-14T9-16-43_Mw_4,9	-33.733	-72.071	4.9
EV_670	2020-05-05T17-19-46_Mw_4,6	-34.054	-71.234	4.6
EV_671	2020-05-05T20-25-19_Mw_4,7	-30.646	-71.68	4.7
EV_672	2020-05-06T15-43-12_Mw_5,1	-19.32	-70.418	5.1
EV_673	2020-05-06T6-36-53_Mw_5,2	-29.583	-71.107	5.2
EV_674	2020-05-08T22-42-8_Mw_5,0	-23.156	-68.915	5
EV_675	2020-05-18T11-15-39_Mw_4,9	-19.905	-70.049	4.9
EV_676	2020-05-21T22-31-17_Mw_4,8	-33.553	-70.754	4.8
EV_677	2014-10-20T10-18-17_Mw_5,2	-35.609	-71.555	5.2
EV_678	2020-05-22T14-59-33_Mw_5,2	-22.929	-69.043	5.2
EV_679	2020-05-23T13-11-0_Mw_5,2	-33.501	-70.014	5.2
EV_680	2020-05-29T16-32-55_Mw_5,2	-27.584	-69.279	5.2
EV_681	2020-06-03T7-35-34_Mw_6,9	-23.247	-68.53	6.9
EV_682	2014-10-23T23-38-52_Mw_5,0	-34.009	-72.331	5
EV_683	2020-06-05T2-2-51_Mw_4,6	-30.449	-71.648	4.6
EV_684	2020-06-17T0-50-46_Mw_4,7	-36.661	-73.13	4.7
EV_685	2020-06-25T11-55-2_Mw_5,2	-32.247	-71.657	5.2
EV_686	2014-10-24T7-16-41_Mw_4,6	-33.996	-72.242	4.6
EV_687	2014-10-25T17-5-17_Mw_4,6	-34.039	-72.162	4.6

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_688	2020-07-17T5-40-36_Mw_5,7	-20.236	-70.083	5.7
EV_689	2020-07-19T16-52-52_Mw_4,7	-20.257	-70.059	4.7
EV_690	2020-07-22T22-25-11_Mw_4,9	-27.303	-70.082	4.9
EV_691	2013-12-22T1-53-29_Mw_5,0	-32.872	-70.621	5
EV_692	2014-10-31T2-46-43_Mw_4,7	-19.39	-69.196	4.7
EV_693	2020-07-26T17-2-49_Mw_4,7	-32.152	-71.919	4.7
EV_694	2014-11-04T11-44-51_Mw_4,9	-41.227	-73.831	4.9
EV_695	2020-08-03T11-56-52_Mw_5,4	-19.572	-69.215	5.4
EV_696	2020-08-07T23-53-53_Mw_4,6	-32.971	-70.192	4.6
EV_697	2020-08-16T3-18-50_Mw_5,2	-19.2	-70.244	5.2
EV_698	2020-08-28T17-30-44_Mw_4,6	-20.007	-69.834	4.6
EV_699	2020-09-01T10-31-52_Mw_5,3	-27.938	-71.332	5.3
EV_700	2020-09-01T21-9-15_Mw_6,3	-27.975	-71.553	6.3
EV_701	2020-09-01T4-30-2_Mw_6,1	-28.074	-71.209	6.1
EV_702	2012-03-25T22-37-6_Mw_6,8	-35.2	-72.217	6.8
EV_703	2014-11-17T0-33-46_Mw_5,1	-32.959	-70.6	5.1
EV_704	2020-09-01T4-36-36_Mw_4,8	-27.975	-71.082	4.8
EV_705	2020-09-01T4-9-27_Mw_7,0	-27.969	-71.241	7
EV_706	2020-09-01T5-29-39_Mw_5,2	-28.061	-71.356	5.2
EV_707	2020-09-01T7-1-24_Mw_5,5	-28.053	-71.333	5.5
EV_708	2020-09-02T9-38-13_Mw_4,6	-27.996	-71.314	4.6
EV_709	2020-09-06T1-16-58_Mw_6,3	-30.353	-71.541	6.3
EV_710	2020-09-06T11-21-1_Mw_4,8	-28.033	-71.408	4.8
EV_711	2014-11-22T6-50-55_Mw_4,9	-20.033	-71.121	4.9
EV_712	2020-09-11T7-35-56_Mw_6,0	-21.363	-69.907	6
EV_713	2014-11-29T13-30-17_Mw_4,8	-29.776	-71.281	4.8
EV_714	2020-09-11T8-25-6_Mw_4,6	-21.389	-69.889	4.6
EV_715	2020-09-17T1-33-15_Mw_5,1	-30.354	-71.516	5.1
EV_716	2020-10-13T17-16-17_Mw_4,9	-26.162	-71.049	4.9
EV_717	2020-10-21T9-13-7_Mw_5,6	-25.572	-70.833	5.6

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_718	2020-10-28T14-53-11_Mw_5,9	-29.334	-71.199	5.9
EV_719	2014-11-29T14-18-10_Mw_5,1	-19.948	-71.129	5.1
EV_720	2020-10-28T4-52-32_Mw_5,3	-34.911	-71.679	5.3
EV_721	2020-10-29T16-8-39_Mw_4,8	-17.699	-69.872	4.8
EV_722	2020-11-14T14-29-20_Mw_4,9	-20.387	-69.215	4.9
EV_723	2020-11-16T20-18-33_Mw_5,1	-28.42	-71.099	5.1
EV_724	2014-12-02T3-56-47_Mw_4,6	-20.279	-71.055	4.6
EV_725	2020-11-20T17-2-41_Mw_4,6	-18.179	-69.954	4.6
EV_726	2014-12-21T12-36-56_Mw_4,7	-35.737	-71.704	4.7
EV_727	2020-11-21T2-11-47_Mw_5,6	-30.922	-71.258	5.6
EV_728	2020-11-22T0-54-57_Mw_6,0	-34.632	-73.064	6
EV_729	2020-11-25T10-58-24_Mw_5,0	-35.61	-71.618	5
EV_730	2020-12-06T16-47-42_Mw_6,1	-20.358	-69.07	6.1
EV_731	2014-12-27T22-6-7_Mw_4,6	-30.169	-71.468	4.6
EV_732	2020-12-08T7-7-20_Mw_5,0	-32.087	-71.465	5
EV_733	2020-12-14T15-20-50_Mw_5,9	-21.803	-68.713	5.9
EV_734	2020-12-27T13-55-21_Mw_5,1	-19.116	-69.516	5.1
EV_735	2020-12-27T21-39-17_Mw_6,2	-39.331	-74.821	6.2
EV_736	2014-12-28T18-14-25_Mw_4,9	-19.882	-68.89	4.9
EV_737	2021-01-06T16-38-41_Mw_5,1	-19.546	-69.251	5.1
EV_738	2021-01-10T3-54-13_Mw_6,4	-23.967	-67.06	6.4
EV_739	2021-01-16T3-53-35_Mw_5,1	-31.023	-71.388	5.1
EV_740	2015-01-09T11-48-29_Mw_5,2	-20.401	-69.025	5.2
EV_741	2021-01-24T0-7-44_Mw_5,7	-33.346	-70.212	5.7
EV_742	2021-01-30T13-24-59_Mw_5,1	-19.934	-70.335	5.1
EV_743	2021-02-09T11-28-21_Mw_4,6	-18.592	-69.892	4.6
EV_744	2014-01-02T22-39-44_Mw_4,9	-32.961	-71.386	4.9
EV_745	2021-02-10T20-18-29_Mw_5,2	-31.767	-71.255	5.2
EV_746	2021-02-12T9-50-22_Mw_4,7	-30.713	-71.403	4.7
EV_747	2021-02-13T18-49-42_Mw_5,2	-20.513	-70.595	5.2

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_748	2021-02-19T6-54-29_Mw_5,0	-29.348	-71.6	5
EV_749	2015-01-09T18-35-1_Mw_4,7	-34.227	-72.449	4.7
EV_750	2021-03-08T12-48-6_Mw_5,3	-32.22	-70.088	5.3
EV_751	2021-03-16T3-53-56_Mw_5,0	-34.8	-71.796	5
EV_752	2021-03-27T20-17-13_Mw_4,6	-19.848	-69.912	4.6
EV_753	2021-04-10T7-52-48_Mw_5,3	-37.945	-73.72	5.3
EV_754	2021-04-19T0-27-33_Mw_4,9	-17.738	-70.677	4.9
EV_755	2021-05-02T6-57-38_Mw_5,9	-30.117	-71.561	5.9
EV_756	2021-06-22T19-16-26_Mw_5,3	-32.1	-71.195	5.3
EV_757	2015-01-10T17-55-3_Mw_5,3	-21.63	-68.658	5.3
EV_758	2021-07-04T1-1-37_Mw_5,8	-28.797	-71.569	5.8
EV_759	2021-07-04T1-29-15_Mw_5,8	-28.771	-71.589	5.8
EV_760	2021-07-08T10-30-39_Mw_5,1	-18.466	-71.261	5.1
EV_761	2021-07-08T20-38-33_Mw_5,4	-28.751	-71.53	5.4
EV_762	2021-07-09T5-5-31_Mw_5,0	-20.339	-68.728	5
EV_763	2021-07-21T16-23-56_Mw_5,0	-21.709	-68.71	5
EV_764	2014-01-07T3-43-23_Mw_5,2	-20.989	-69.729	5.2
EV_765	2015-01-18T3-59-59_Mw_4,9	-32.703	-71.703	4.9
EV_766	2015-01-25T8-47-5_Mw_5,2	-34.756	-71.813	5.2
EV_767	2015-01-29T0-8-11_Mw_4,9	-31.567	-70.545	4.9
EV_768	2015-02-02T10-49-49_Mw_6,4	-32.002	-67.529	6.4
EV_769	2014-01-29T10-1-49_Mw_5,3	-18.564	-69.597	5.3
EV_770	2015-02-11T18-57-19_Mw_6,6	-23.167	-66.863	6.6
EV_771	2015-02-17T14-35-53_Mw_5,8	-32.383	-70.988	5.8
EV_772	2015-02-17T7-50-44_Mw_4,6	-30.959	-71.303	4.6
EV_773	2015-02-18T0-47-25_Mw_4,7	-35.08	-71.136	4.7
EV_774	2015-02-28T3-45-32_Mw_5,1	-36.884	-72.991	5.1
EV_775	2015-09-01T15-28-51_Mw_5,6	-19.785	-69.245	5.6
EV_776	2015-09-10T14-40-16_Mw_4,6	-19.979	-70.97	4.6
EV_777	2015-09-14T6-4-56_Mw_4,6	-25.037	-70.481	4.6

Tabla A. 3.2.1 Base de datos para los eventos

EV_778	2015-09-15T21-21-20_Mw_5,1	-19.967	-71.05	5.1
EV_779	2015-09-15T22-3-34_Mw_4,9	-19.997	-70.961	4.9
EV_780	2015-09-16T18-24-22_Mw_5,0	-19.936	-70.959	5
EV_781	2015-09-16T22-59-15_Mw_7,1	-31.618	-71.745	7.1
EV_782	2015-09-16T23-16-8_Mw_6,8	-31.901	-71.899	6.8
EV_783	2014-02-12T11-43-10_Mw_5,7	-22.354	-68.813	5.7
EV_784	2014-02-12T13-35-23_Mw_5,2	-34.773	-71.656	5.2
EV_785	2014-02-23T23-40-2_Mw_5,3	-23.847	-68.785	5.3
EV_786	2014-03-14T15-31-18_Mw_4,9	-19.459	-69.453	4.9
EV_787	2015-09-16T23-3-56_Mw_6,1	-31.733	-71.677	6.1
EV_788	2015-09-17T0-22-14_Mw_5,5	-31.489	-72.001	5.5
EV_789	2015-09-17T0-6-18_Mw_5,3	-30.996	-71.478	5.3

Tabla A. 3.2.2 Base de datos de las estaciones

ID Est	Est	Lat Est [°]	Long Est [°]	Vs30 [m/s]	f ₀ [Hz.]	Kappa [s]
EST_1	GO04	-30.1727	-70.7993	405	1.640	0.048000
EST_2	PB06	-22.7058	-69.57188	736	7.940	0.006000
EST_3	T03A	-20.23034	-70.14592	635	7.010	0.000813
EST_4	T06A	-20.2142	-70.13789	276	1.670	0.001120
EST_5	C10O	-30.23387	-71.08159	517	6.500	0.000827
EST_6	C11O	-30.696472	-70.958889	402	3.220	0.000967
EST_7	T08A	-20.27016	-70.09414	680	14.350	0.000693
EST_8	C23O	-31.783711	-70.969739	751	2.100	0.001064
EST_9	C26O	-30.25898	-71.49046	364	1.870	0.001092
EST_10	C32O	-30.854861	-70.707333	578	6.510	0.000827
EST_11	R13M	-33.215583	-70.766861	401	1.310	0.001183
EST_12	V15A	-32.914889	-71.232592	549	5.720	0.000851
EST_13	T09A	-19.59571	-70.21078	826	25.000	0.012000

Tabla A. 3.2.2 Base de datos de las estaciones

EST_14	T13A	-20.496328	-69.33747	357	2.080	0.058000
EST_15	T07A	-20.25627	-69.78601	344	2.470	0.058000
EST_16	C01O	-29.87719	-71.23787	399	1.180	0.001210
EST_17	C20O	-29.96818	-71.33736	1106	1.240	0.001197
EST_18	C22O	-29.96551	-71.35111	1228	6.484	0.000827
EST_19	C09O	-29.51064	-71.20036	576	5.770	0.000849
EST_20	PB15	-23.208335	-69.47092	532	2.220	0.012000
EST_21	CO03	-30.8389	-70.6891	639	7.790	0.005000
EST_22	C19O	-30.09348	-71.36893	1106	11.016	0.000735
EST_23	C33O	-29.91071	<u>-71.25082</u>	587	3.200	0.000969
EST_24	MT05	-33.3919	-70.7381	496	3.080	0.076000
EST_25	R02M	-33.472778	-70.659722	724	2.306	0.001042
EST_26	R12M	-33.388686	-70.621589	311	0.990	0.001259
EST_27	R14M	-33.397111	-70.546306	635	12.404	0.000716
EST_28	R16M	-33.4	-70.658639	353	0.510	0.001460
EST_29	R18M	-33.508417	-70.748806	379	2.700	0.001006
EST_30	R19M	-33.698472	-71.217222	471	1.400	0.001165
EST_31	R20M	-33.665194	-70.929333	471	1.400	0.001165
EST_32	R21M	-33.380861	-70.796167	471	1.400	0.001165
EST_33	ROC1	-32.9756	-71.0156	1951	9.900	0.047000
EST_34	V01A	-33.053122	-71.622031	642	8.480	0.000779
EST_35	V07A	-33.365428	-71.669036	549	5.720	0.000851
EST_36	V09A	-33.048061	-71.6045	317	1.610	0.001129
EST_37	V16A	-33.590583	-71.604611	477	5.600	0.000855
EST_38	V17A	-33.605484	-71.61432	281	0.950	0.001270
EST_39	V22A	-33.020206	-71.635775	854	8.500	0.000779
EST_40	VA03	-32.7637	-70.5508	688	7.850	0.052000
EST_41	AP01	-18.3708	-70.3419	443	0.420	0.058000
EST_42	GO01	-19.6685	-69.1942	973	7.750	0.057000
EST_43	HMBCX	-20.27822	-69.88791	677	1.280	0.001189

Tabla A. 3.2.2 Base de datos de las estaciones

EST_44	V02A	-33.023083	-71.517833	622	7.280	0.000806
EST_45	MNMCX	-19.13108	-69.59553	693	5.680	0.000852
EST_46	PB11	-19.76096	-69.65582	846	0.530	0.001447
EST_47	V11A	-32.755706	-70.72522	837	2.595	0.001015
EST_48	R05M	-33.442822	-70.534631	635	20.263	0.000642
EST_49	PB12	-18.61406	-70.32809	599	4.820	0.051000
EST_50	T10A	-19.99545	-69.76707	418	2.800	0.038000
EST_51	GO02	-25.1626	-69.5904	820	17.500	0.064000
EST_52	CO02	-31.2037	-71.0003	555	4.480	0.000899
EST_53	T01A	-20.27291	-70.12231	725	1.360	0.001173
EST_54	T15A	-20.2393	-70.05395	1003	9.571	0.000758
EST_55	PB01	-21.04323	-69.4874	603	3.400	0.000956
EST_56	T11A	-19.31239	-69.42728	346	1.140	0.053000
EST_57	T20A	-19.924414	-69.511922	517	6.500	0.000827
EST_58	A05C	-27.3612	-70.3399	632	6.300	0.000833
EST_59	C13O	-30.579306	-71.494556	505	1.750	0.001108
EST_60	M13L	-36.141111	-71.824167	309	1.750	0.001108
EST_61	C04O	-29.94235	-71.26315	475	0.870	0.001296
EST_62	GO03	-27.5937	-70.2347	695	5.280	0.033000
EST_63	A19C	-27.83037	-70.10798	507	2.500	0.001024
EST_64	A27C	-27.36717	-70.33069	473	6.700	0.000821
EST_65	C07O	-31.633614	-71.1675	654	5.320	0.000865
EST_66	T05A	-20.20975	-70.15022	809	4.680	0.025000
EST_67	T02A	-20.252456	-70.118056	278	1.430	0.001160
EST_68	B06I	-36.486389	-72.700278	282	2.100	0.001064
EST_69	M09L	-35.590811	-72.281189	400	2.560	0.001018
EST_70	M10L	-35.843056	-72.63	402	5.406	0.000862
EST_71	T12A	-20.07067	-69.21722	732	10.010	-0.006
EST_72	L02R	-39.832194	-73.201028	229	1.040	0.001245
EST_73	A04C	-27.29958	-70.421317	534	1.130	0.001222

Tabla A. 3.2.2 Base de datos de las estaciones

EST_74	A06C	-27.3494	-70.34776	483	5.810	0.000848
EST_75	A28C	-27.46644	-70.26543	522	6.900	0.000816
EST_76	CO05	-29.91864	-71.23841	773	0.922	0.001279
EST_77	FAR1	-33.3377	-70.2994	681	5.550	0.019000
EST_78	A10F	-25.41106	-70.48425	517	6.500	0.000827
EST_79	A21F	-25.40762	-70.48847	517	6.500	0.000827
EST_80	PB02	-21.31973	-69.89603	746	1.290	0.001187
EST_81	LMEL	-33.8476	-70.2075	808	5.000	0.045000
EST_82	L05L	-41.15378	-73.41754	255	1.410	0.001163
EST_83	L09L	-41.865269	-73.826139	182	2.850	0.000994
EST_84	L11L	-40.799517	-73.218289	374	1.400	0.001165
EST_85	LL05	-41.405341	-73.47445	500	0.190	0.001820
EST_86	TA01	-20.5656	-70.1807	566	5.250	0.067000
EST_87	A08P	-18.47979	-70.33099	997	18.469	0.000655
EST_88	M03L	-34.975556	-71.232222	715	45.288	0.000536
EST_89	A01C	-27.07053	-70.82676	749	4.959	0.000878
EST_90	A08C	-27.36041	-70.33849	2127	14.650	0.000690
EST_91	PB04	-22.33369	-70.14918	563	1.530	0.001142
EST_92	A29C	-27.42176	-70.25963	622	3.800	0.000932
EST_93	A30C	-27.06987	-70.82042	1572	31.150	0.000583
EST_94	CO04	-32.0433	-70.9747	681	5.090	0.000873
EST_95	MT02	-33.2591	-71.1377	923	10.330	0.037000
EST_96	AC01	-26.1479	-70.5987	699	14.100	0.000696
EST_97	T04A	-20.23907	-70.1333	697	25.000	0.000612
EST_98	PB03	-22.04847	-69.7531	711	12.500	0.016000
EST_99	A18C	-27.50259	-70.88667	1170	5.700	0.000852
EST_100	PATCX	-20.82071	-70.15288	559	4.120	0.000916
EST_101	PB07	-21.72667	-69.88618	644	4.520	0.000897
EST_102	BO02	-34.7924	-70.7814	553	3.950	0.073000
EST_103	A12P	-18.45246	-70.06674	560	2.200	0.001053

Tabla A. 3.2.2 Base de datos de las estaciones

EST_104	BO03	-34.49605	-71.9612	433	0.110	0.002056
EST_105	PB09	-21.79638	-69.24192	649	10.150	0.000749
EST_106	GO05	-35.0099	-71.9303	536	3.010	0.066000
EST_107	MT09	-33.77622	-70.98867	1127	5.270	0.000867
EST_108	VA05	-33.65711	-71.61428	359	2.460	0.001027
EST_109	CCSP	-36.8442	-73.109	236	1.920	0.050000
EST_110	PB08	-20.14112	-69.1534	742	4.200	0.000912
EST_111	PSGCX	-19.59717	-70.12305	569	1.820	0.001099
EST_112	A07Y	-43.773392	-72.955146	226	0.330	0.001609
EST_113	GO07	-43.1142	-73.6644	533	0.910	0.001283
EST_114	LL07	-42.83235	-73.47785	435	0.317	0.001624
EST_115	PB10	-23.51343	-70.55408	790	8.580	0.055000
EST_116	AC02	-26.8355	-69.1291	656	5.430	0.000861
EST_117	AC04	-28.2046	-71.0739	583	6.690	0.000822
EST_118	AC05	-28.8364	-70.2738	845	0.240	0.001727
EST_119	AC06	-27.357117	-70.354689	1246	9.975	0.000752
EST_120	VA01	-33.0229	-71.6374	631	9.030	0.000768
EST_121	BO01	-34.3917	-71.0848	877	4.150	0.000914
EST_122	BO04	-33.98884	-70.60902	1099	4.100	0.000917
EST_123	MT01	-33.8641	-71.2509	727	4.320	0.000906
EST_124	TA02	-20.2705	-70.1311	715	5.970	0.063000
EST_125	PB05	-22.85283	-70.20235	773	4.280	0.009000
EST_126	L11R	-39.862636	-72.811281	231	1.410	0.001163
EST_127	A03C	-27.2616	-70.77364	648	6.710	0.000821
EST_128	L03R	-39.869167	-73.399611	450	6.710	0.000821
EST_129	L04R	-39.540583	-72.961083	328	2.820	0.000996
EST_130	L06R	-40.293366	-73.084417	448	0.620	0.001398
EST_131	L14L	-40.68578	-72.60417	295	0.510	0.001460
EST_132	L17L	-40.587706	-73.128433	447	1.030	0.001248
EST_133	A04P	-18.8337	-69.74445	483	1.600	0.001131

Tabla A. 3.2.2 Base de datos de las estaciones

EST_134	A06P	-18.46971	-70.29346	500	2.500	0.001024
EST_135	A07P	-18.44591	-70.29289	560	1.200	0.001206
EST_136	A09P	-18.48049	-70.32493	1054	1.264	0.001192
EST_137	A19P	-18.49347	-70.29907	727	5.317	0.000865
EST_138	V08A	-33.020064	-71.549814	344	0.930	0.001277
EST_139	A07C	-27.37406	-70.31777	441	2.510	0.001023
EST_140	V12A	-32.450244	-71.236903	347	2.050	0.001070
EST_141	V19A	-32.845742	-70.129706	321	2.600	0.001015
EST_142	A05P	-18.48632	-70.30054	446	1.200	0.001206
EST_143	A11P	-18.47929	-70.27053	804	1.050	0.001242
EST_144	A13P	-18.51874	-70.17931	531	1.300	0.001185
EST_145	A14P	-18.35109	-70.33592	474	0.420	0.001525
EST_146	A15P	-18.47222	-70.31286	390	1.100	0.001230
EST_147	T19A	-20.28731	-70.10455	822	16.857	0.000668
EST_148	R07M	-33.36725	-70.68975	356	0.780	0.001328
EST_149	V03A	-33.055147	-71.438597	575	5.500	0.000858
EST_150	PB16	-18.3351	-69.50767	861	0.200	0.001799
EST_151	T16A	-20.5392	-70.177633	1545	8.450	0.000780
EST_152	C24O	-29.95462	-71.30146	433	0.770	0.001332
EST_153	R17M	-33.2055	-70.683806	563	5.223	0.000868
EST_154	V13A	-32.5062	-71.4421	357	3.520	0.000948
EST_155	V04A	-32.250831	-70.93095	374	2.880	0.000992
EST_156	M05L	-34.99	-71.243333	494	1.200	0.001206
EST_157	C08O	-31.187278	-71.000806	827	1.630	0.001126
EST_158	C29O	-30.601056	-71.201131	799	1.100	0.001230
EST_159	L08L	-42.482511	-73.765853	360	1.560	0.001137
EST_160	C17O	-29.90438	-71.23794	529	1.602	0.001131
EST_161	CO01	-29.9773	-70.0939	1025	3.000	0.000983
EST_162	R10M	-33.578333	-70.551389	435	3.560	0.000946
EST_163	R15M	-33.357833	-70.508383	335	1.450	0.001156

Tabla A. 3.2.2 Base de datos de las estaciones

EST_164	V18A	-33.051764	-71.338325	492	4.100	0.000917
EST_165	V21A	-32.839586	-70.604158	733	1.763	0.001107
EST_166	R06M	-33.607022	-70.574519	593	4.200	0.000912
EST_167	C16O	-29.87914	-71.27138	281	1.300	0.001185
EST_168	C21O	-31.8987	-71.492767	404	1.350	0.001175
EST_169	R22M	-33.453106	-70.591489	647	11.358	0.000730
EST_170	M01L	-35.415117	-71.662267	511	6.970	0.000814
EST_171	M06L	-35.5355	-71.485667	358	1.150	0.001217
EST_172	M11L	-35.440278	-71.631667	482	6.870	0.000817
EST_173	M15L	-35.339722	-72.402222	308	6.740	0.000820
EST_174	MT03	-33.4936	-70.5102	537	3.990	0.000922
EST_175	ML02	-35.7626	-71.4181	383	1.660	0.001122
EST_176	L10R	-40.069533	-72.872886	384	0.660	0.001378
EST_177	L16L	-40.574667	-73.150139	514	5.360	0.000863
EST_178	L13L	-40.66224	-72.12713	225	0.950	0.001270
EST_179	L20L	-43.133683	-73.633317	486	1.230	0.001199
EST_180	M14L	-35.332778	-72.428333	257	1.820	0.001099
EST_181	L02L	-41.621419	-73.594472	202	0.320	0.001620
EST_182	L07L	-41.31655	-72.98422	232	1.300	0.001185
EST_183	BI04	-38.41161	-73.88622	707	7.150	0.000810
EST_184	LR04	-39.88019	-73.425822	457	3.600	0.000944

En la Figura A. 3.2.1 se presentan la distribución espacial de las estaciones Macrozona. Presentando una mayor concentración principalmente en las macrozonas Norte, centro, centro sur y sur. Evidenciando la ausencia de estaciones en la base de datos chilena en la Macrozona austral

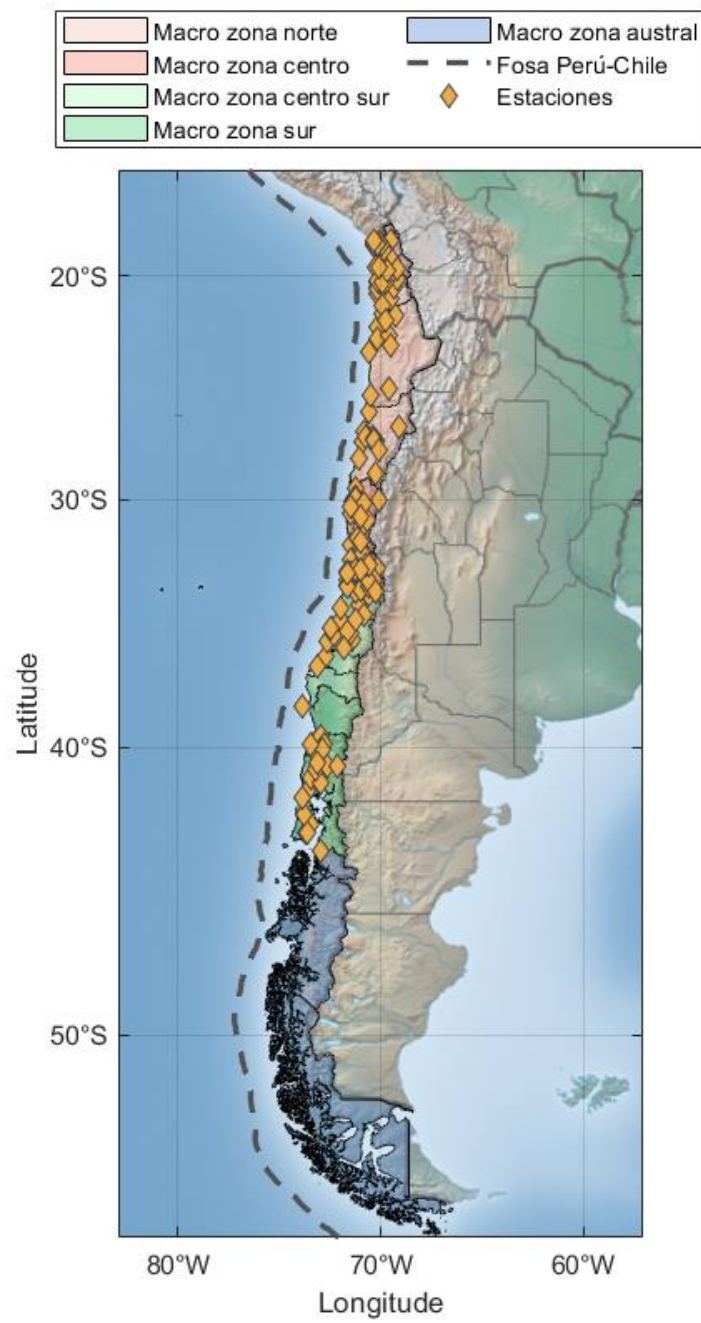


Figura A. 3.2.1 Distribución de las estaciones en el territorio chileno según Macrozona

ANEXO 3.3 PROCESAMIENTO DE REGISTROS

En la siguiente figura se observa el diagrama de flujo que describe el procedimiento para el proceso de los registros sísmicos.

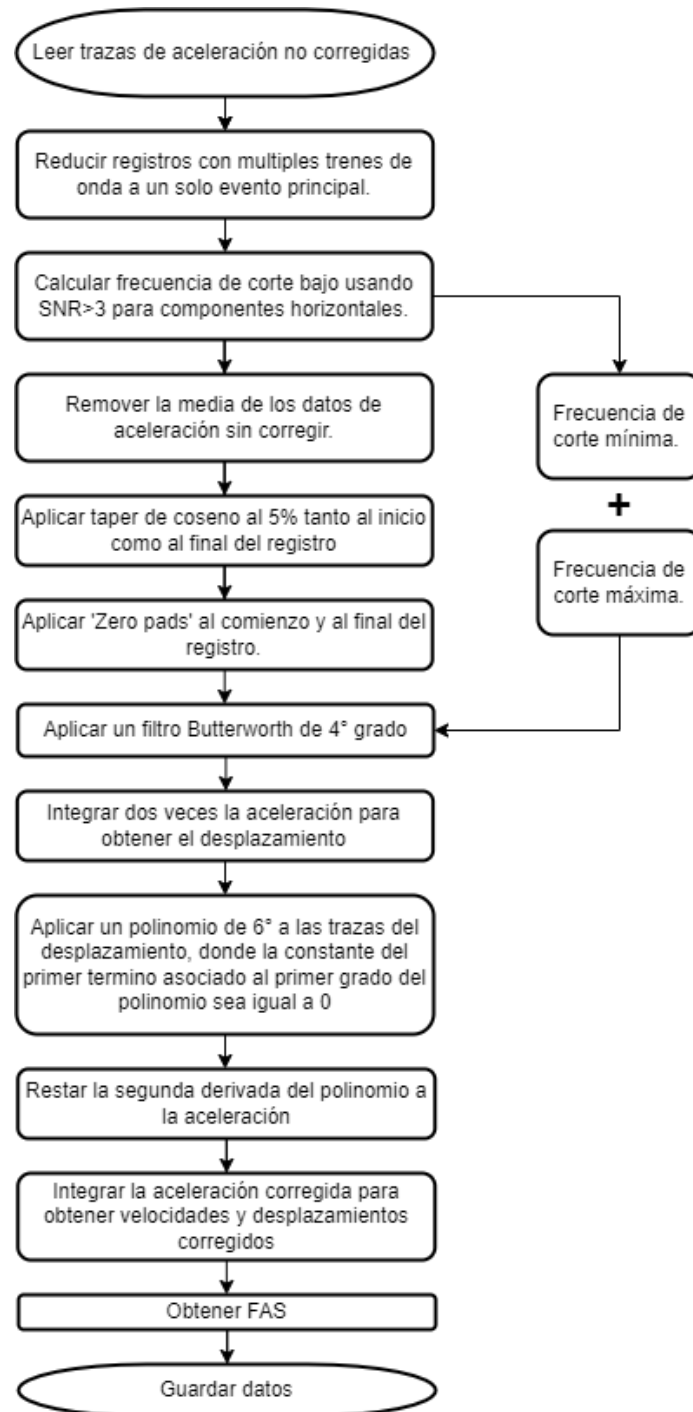


Figura A. 3.3.1 Diagrama de flujo proceso de filtrado de los Registros de aceleración.

ANEXO 3.4 DISTRIBUCION ESPACIAL DE REGISTROS

En la siguiente figura se presenta la distribución espacial de los registros, diferenciados según su sismogénesis.

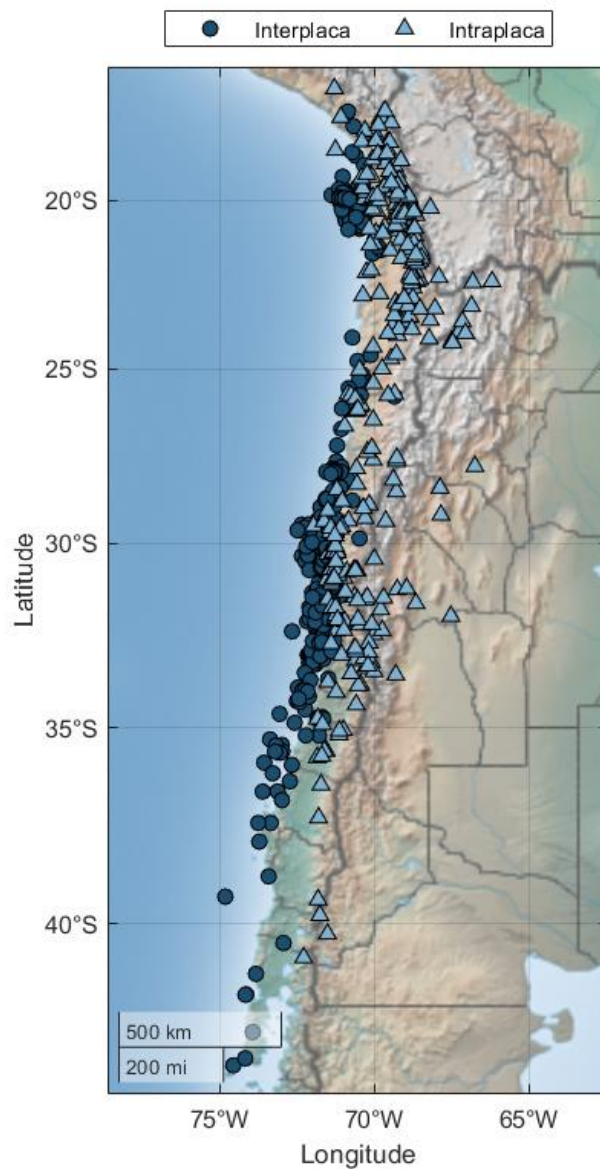


Figura A. 3.4.1 Distribución de los eventos en el territorio chileno de la base de datos

ANEXO 4.1 FORMA FUNCIONAL Y RESIDUALES

Los modelos para GMM, pueden ser generalizados como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\ln(Y) = f(\theta_i|X) + \Delta \quad (\text{A.4.1.1})$$

Donde $\ln(Y)$ corresponde al logaritmo natural de la intensidad a modelar, en este caso Y corresponde al EAS., $f(\theta_i|X)$ corresponde a la mediana del modelo obtenido por los coeficientes θ_i , dado los datos observados X . Finalmente Δ corresponde al error total.

Por otra parte, los residuales pueden ser divididos por sus efectos según sitio, evento y el residual del modelo (es decir, $\Delta = \delta B_e + \delta W_e$).

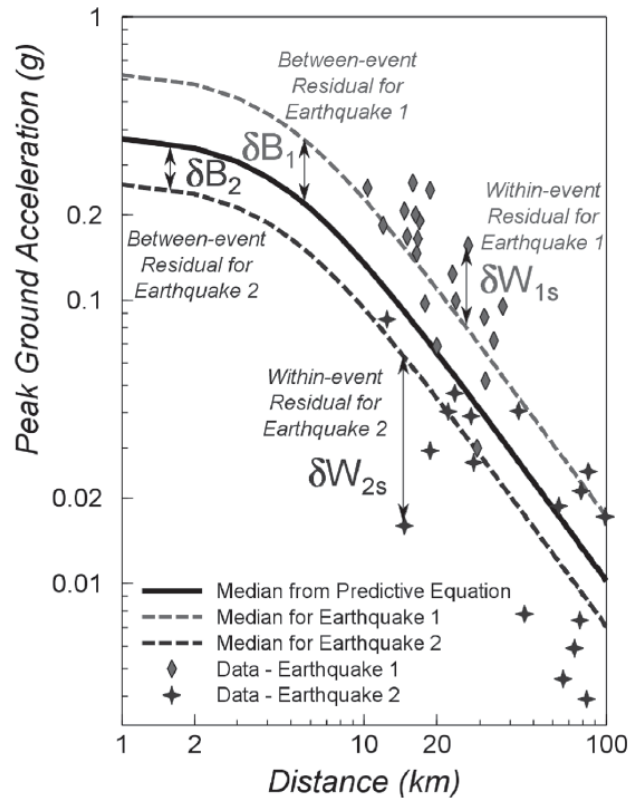


Figura A. 4.1.1 representación gráfica de los residuales *Between-event* y *Within-event*, (Al Atik et al., 2010)

Además, el residual intraevento (δW_e) se puede modelar como una componente relacionada entre sitio y otra para la estación en particular, (es decir, δW_{s2s} y δW_0 , respectivamente).

En la ecuación (A.4.1.1) se observa el caso particular para este trabajo considerando el efecto de los residuales

$$\ln(EAS_{obs}) = f(\theta_i|X) + \delta B_e + \delta W_{S2S} + \delta W_0 \quad (\text{A.4.1.2})$$

En donde los residuales pueden ser modelados por una distribución estadística, en particular se tiene que, $\delta B_e \sim N(0, \tau^2)$ corresponde al residual entre-evento que se distribuye normal con media 0 y desviación estándar τ , $\delta W_{S2S} \sim N(0, \varphi_{S2S}^2)$ es el residual asociado a cada sitio que se distribuye normal con media 0 y desviación estándar φ_{S2S} , por otra parte, $\delta W_0 \sim N(0, \varphi_{SS}^2)$ corresponde al residual intra-evento corregido por el error en el sitio, se distribuye normal, con media 0 y desviación estándar φ_{SS} . Finalmente, la desviación estándar total del modelo (σ) viene dado por $\sigma = \sqrt{\tau^2 + \varphi_{S2S}^2 + \varphi_{SS}^2}$.

ANEXO 5.1 COEFICIENTES Y DESVIACION ESTANDAR

En la siguiente tabla se pueden observar los resultados de los coeficientes obtenidos en la regresión.

Tabla A. 5.1.1 Coeficientes y desviación estándar obtenidas por regresión.

Frec [Hz.]	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	c_8	φ_{SS}	φ_{S2S}	τ	σ
0.1	6.15371	3.41462	0.33214	-1.39991	-0.06319	0.04354	0.00055	-0.26545	1.46432	0.46213	0.79478	1.72901
0.4	9.43010	2.36217	-0.65340	-1.30393	-0.06225	0.03559	0.00006	-0.36708	0.87086	0.57327	0.87926	1.36387
0.7	10.29851	2.11850	-0.59743	-0.97192	-0.05352	-0.03206	0.00019	-0.59173	0.58088	0.61930	0.66875	1.08082
1	9.87669	1.84788	-0.42467	-0.93936	-0.04321	-0.01879	-0.00029	-0.85226	0.47380	0.69625	0.49559	0.97716
2	9.83591	1.77009	-0.27015	-0.52081	-0.01650	-0.07251	-0.00105	-0.98659	0.39534	0.62805	0.37387	0.83097
3	10.72861	2.08098	-0.18953	-0.12305	0.01037	-0.16842	-0.00040	-0.92786	0.36482	0.58558	0.34904	0.77320
4	11.05733	2.35206	-0.13078	0.27874	0.04498	-0.24347	-0.00066	-0.83355	0.34865	0.56497	0.36924	0.75966
5	11.44303	2.31915	-0.11158	0.21903	0.06959	-0.24751	-0.00070	-0.78839	0.33395	0.57250	0.39114	0.76959
6	11.98677	2.51833	-0.08875	0.35233	0.10630	-0.29211	-0.00045	-0.70620	0.32439	0.57062	0.41954	0.77901
7	12.14571	2.38452	-0.09365	0.20396	0.12815	-0.27311	-0.00061	-0.61408	0.31577	0.57888	0.44762	0.79698
8	12.06076	2.21214	-0.10052	0.03852	0.14597	-0.24320	-0.00101	-0.54101	0.30013	0.61181	0.47735	0.83202
9	12.18134	2.07440	-0.11799	-0.16152	0.16296	-0.21607	-0.00123	-0.50399	0.29278	0.64637	0.50396	0.87034
10	12.23663	1.95753	-0.13013	-0.31736	0.17519	-0.19371	-0.00150	-0.47736	0.28905	0.67730	0.52789	0.90606
20	12.47526	1.46165	-0.20611	-1.04398	0.25258	-0.10953	-0.00170	-0.14090	0.28092	0.84564	0.69367	1.12925
30	13.35105	1.49621	-0.19438	-1.26755	0.27128	-0.12958	-0.00003	0.22342	0.33157	0.95579	0.72160	1.24265
40	13.50306	1.78890	-0.20051	-1.03623	0.25397	-0.20715	0.00173	0.28410	0.40939	1.11824	0.68622	1.37439
45	13.29109	2.04543	-0.18635	-0.77384	0.24058	-0.26735	0.00251	0.16799	0.44658	1.29606	0.66552	1.52386

la desviación estandar total del modelo es $\sigma = \sqrt{\tau^2 + \varphi_{S2S}^2 + \varphi_{SS}^2}$.

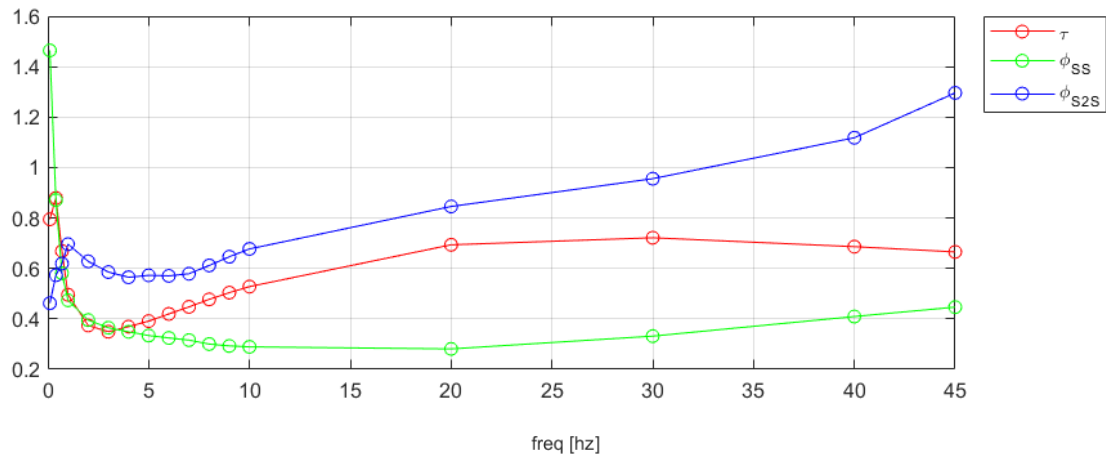


Figura A. 5.1.1 Desviación estándar (τ , ϕ_{SS} y ϕ_{S2S}) vs frecuencia.

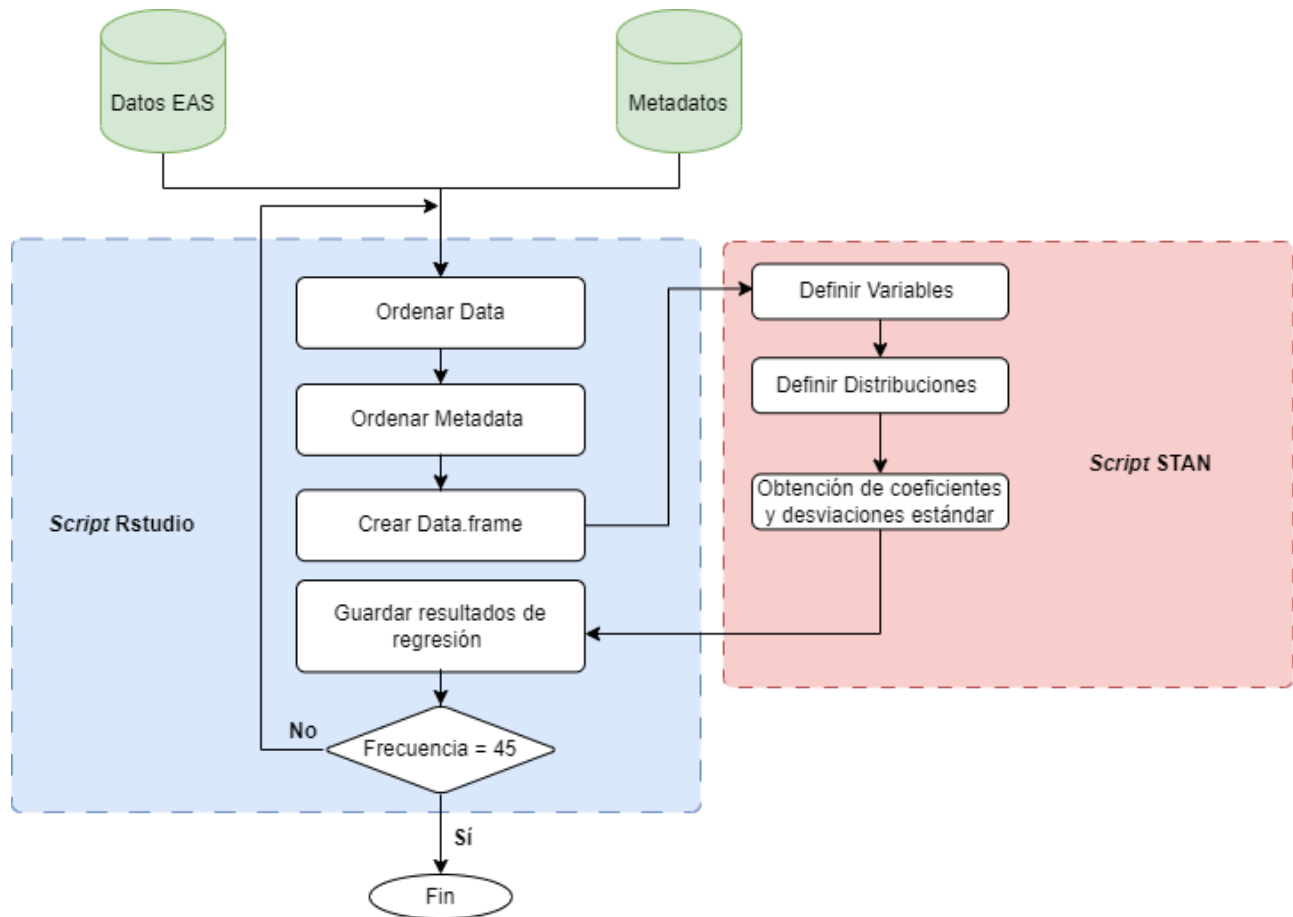
ANEXO 5.2 INTERACCION ENTRE RSTUDIO Y STAN

Figura A. 5.2.1 Diagrama de flujo sobre la interacción entre los *scripts* de Rstudio y STAN

ANEXO 5.3 RESIDUALES Y VALORES P

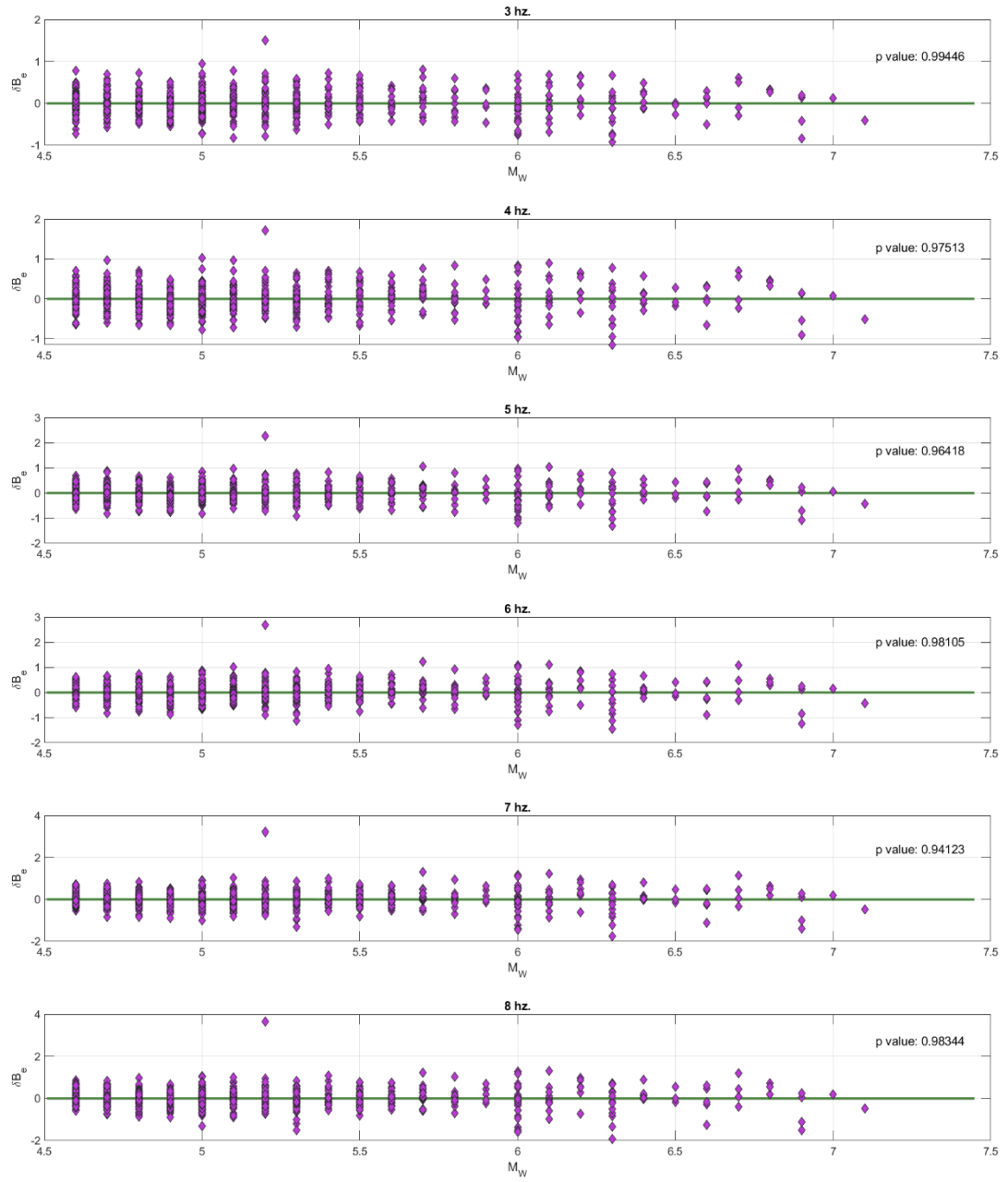


Figura A. 5.3.1 Residual δB_e vs M_W para las frecuencias 3, 4, 5, 6, 7 y 8 Hz.

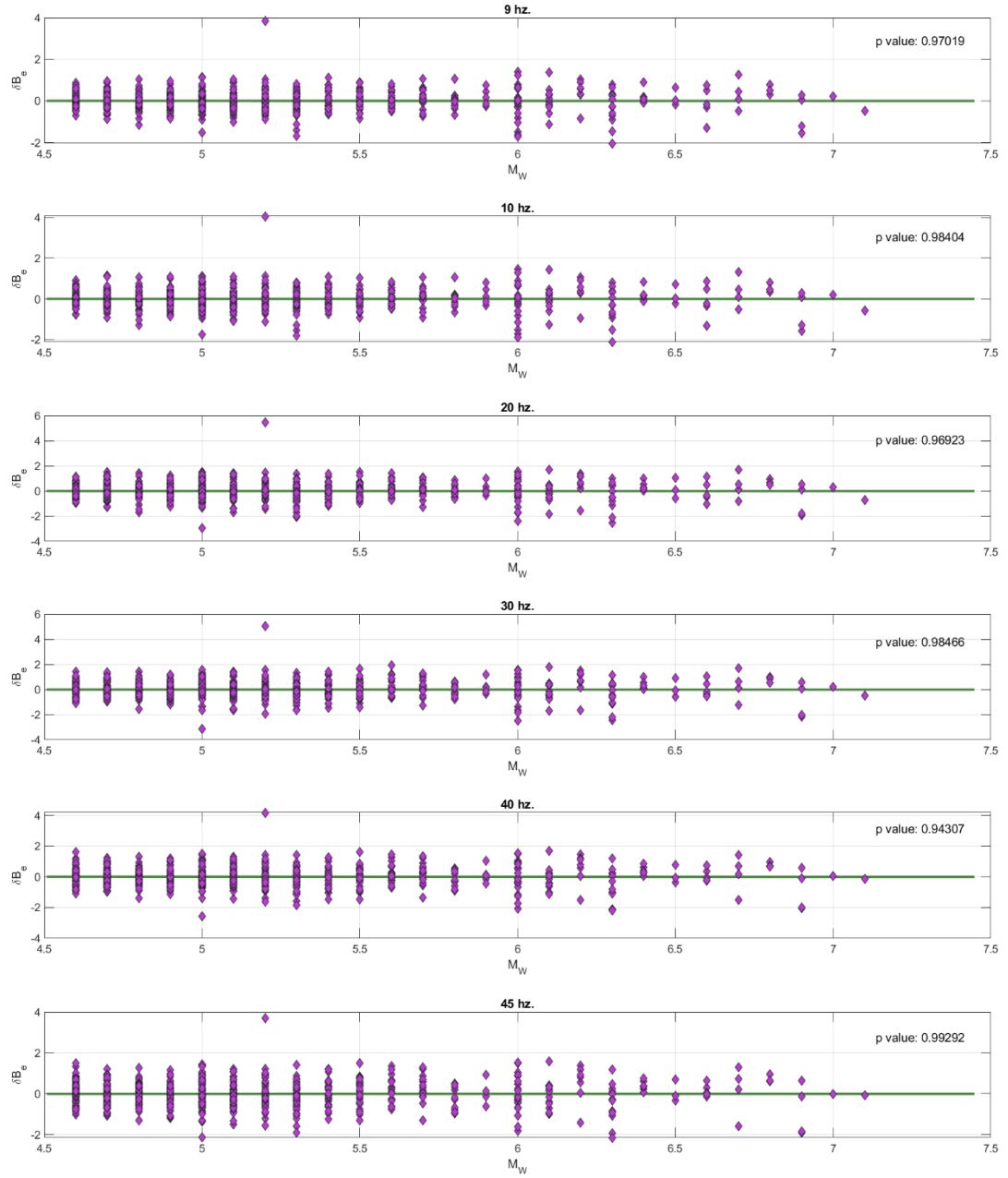


Figura A. 5.3.2 Residual δB_e vs M_W para las frecuencias 9, 10, 20, 30, 40, y 45 Hz.

Tabla A. 5.3.1 *p value* para la pendiente del modelo lineal para el residual δB_e vs M_W . Para el rango 3 a 45 Hz.

Frecuencia	Intercepto	Pendiente	P Value
3	-0.065236899	0.000111331	0.44731091
4	-0.024616057	4.03041E-05	0.775630288
5	-0.008600284	1.62193E-05	0.910055531
6	-0.007595294	1.29065E-05	0.928223836
7	-0.011977557	2.01478E-05	0.889927181
8	-0.010375731	2.31683E-05	0.880893421
9	-0.017129969	2.5579E-05	0.87593472
10	-0.022722345	3.06299E-05	0.858629297
20	-0.017795298	2.9491E-05	0.89158151
30	-0.000453629	3.44828E-08	0.999887442
40	-0.019606267	4.27182E-05	0.881179413
45	-0.092553056	0.000143132	0.666187493

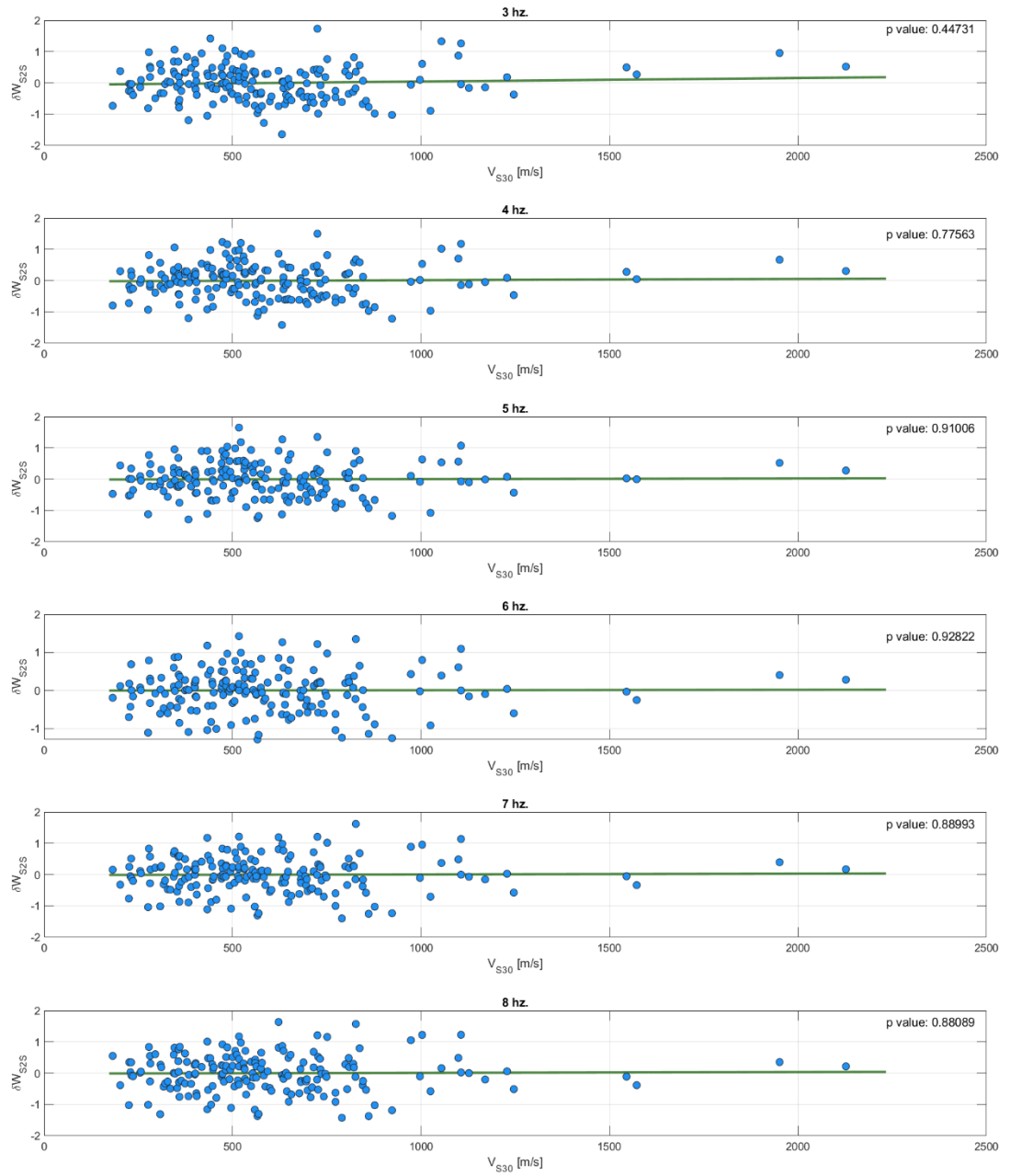


Figura A. 5.3.3 Residual δW_{S2S} vs V_{S30} para las frecuencias 3, 4, 5, 6, 7, y 8 Hz.

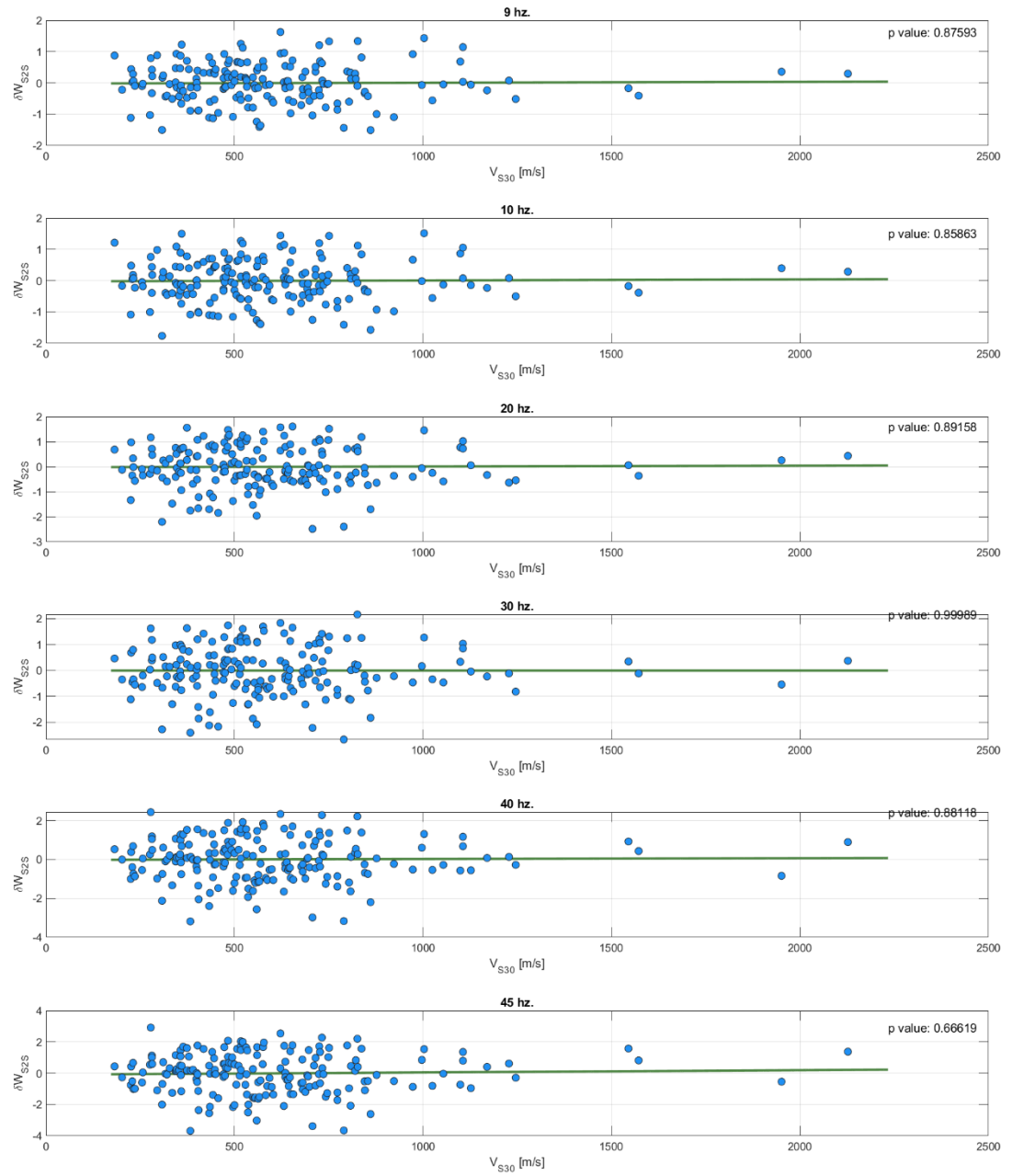


Figura A. 5.3.4 Residual δW_{S2S} vs V_{S30} para las frecuencias 9, 10, 20, 30, 40 y 45 Hz.

Tabla A. 5.3.2 *p value* para la pendiente del modelo lineal para el residual δW_{S2S} vs V_{S30} . Para el rango 3 a 45 Hz.

Frecuencia	Intercepto	Pendiente	P Value
3	-0.000778323	0.000145	0.994462
4	-0.00298459	0.000706	0.975134
5	0.005724264	-0.0011	0.964183
6	-0.003134445	0.000636	0.981053
7	0.009678237	-0.00214	0.941233
8	0.00324103	-0.00065	0.983441
9	0.006992016	-0.00125	0.970187
10	0.002980911	-0.00071	0.984041
20	0.009274091	-0.00184	0.969235
30	0.004609532	-0.00095	0.984657
40	0.017570874	-0.00325	0.943065
45	-0.002670399	0.000386	0.992915

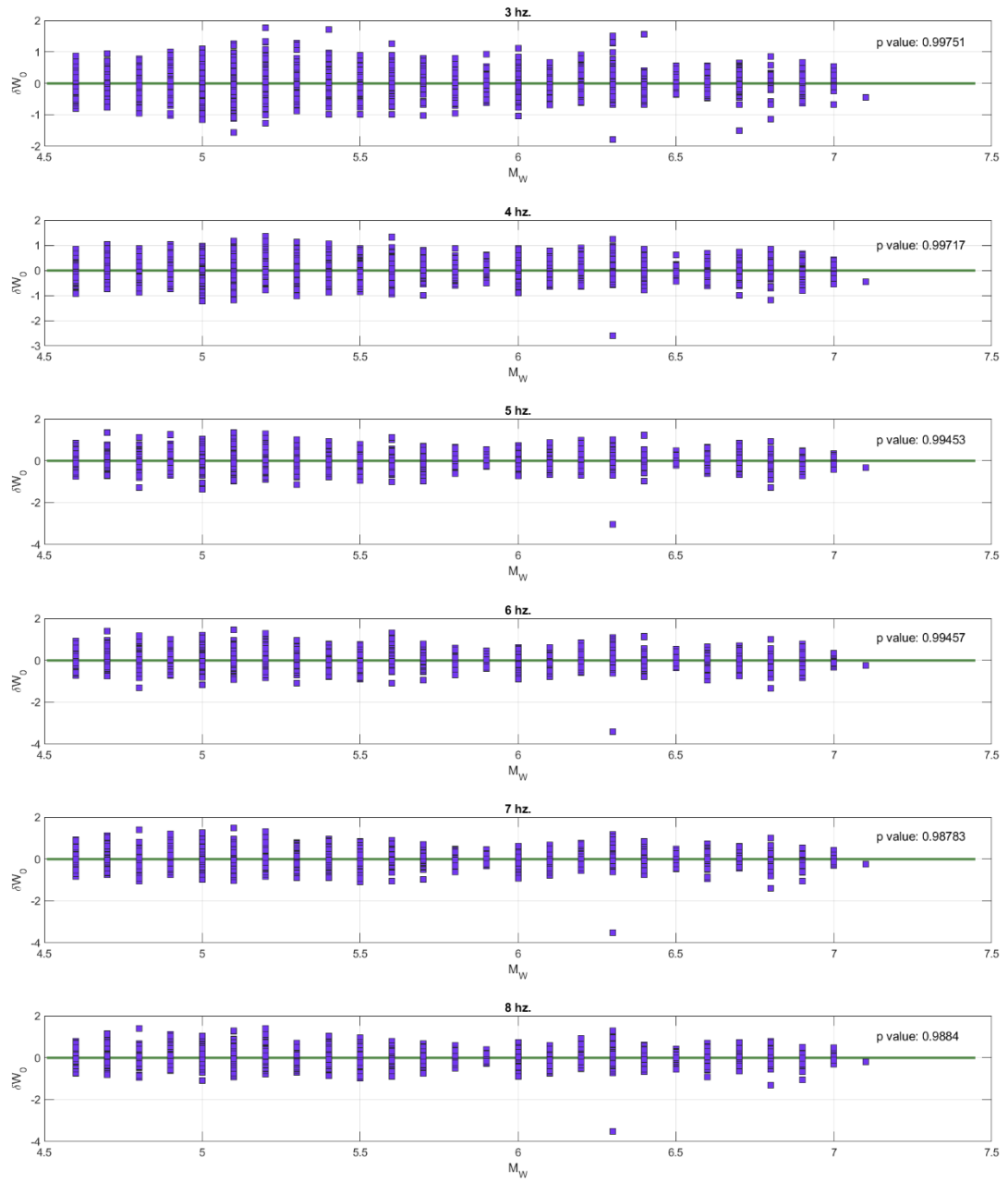


Figura A. 5.3.5 Residual δW_0 vs M_W para las frecuencias 3, 4, 5, 6, 7 y 8 Hz.

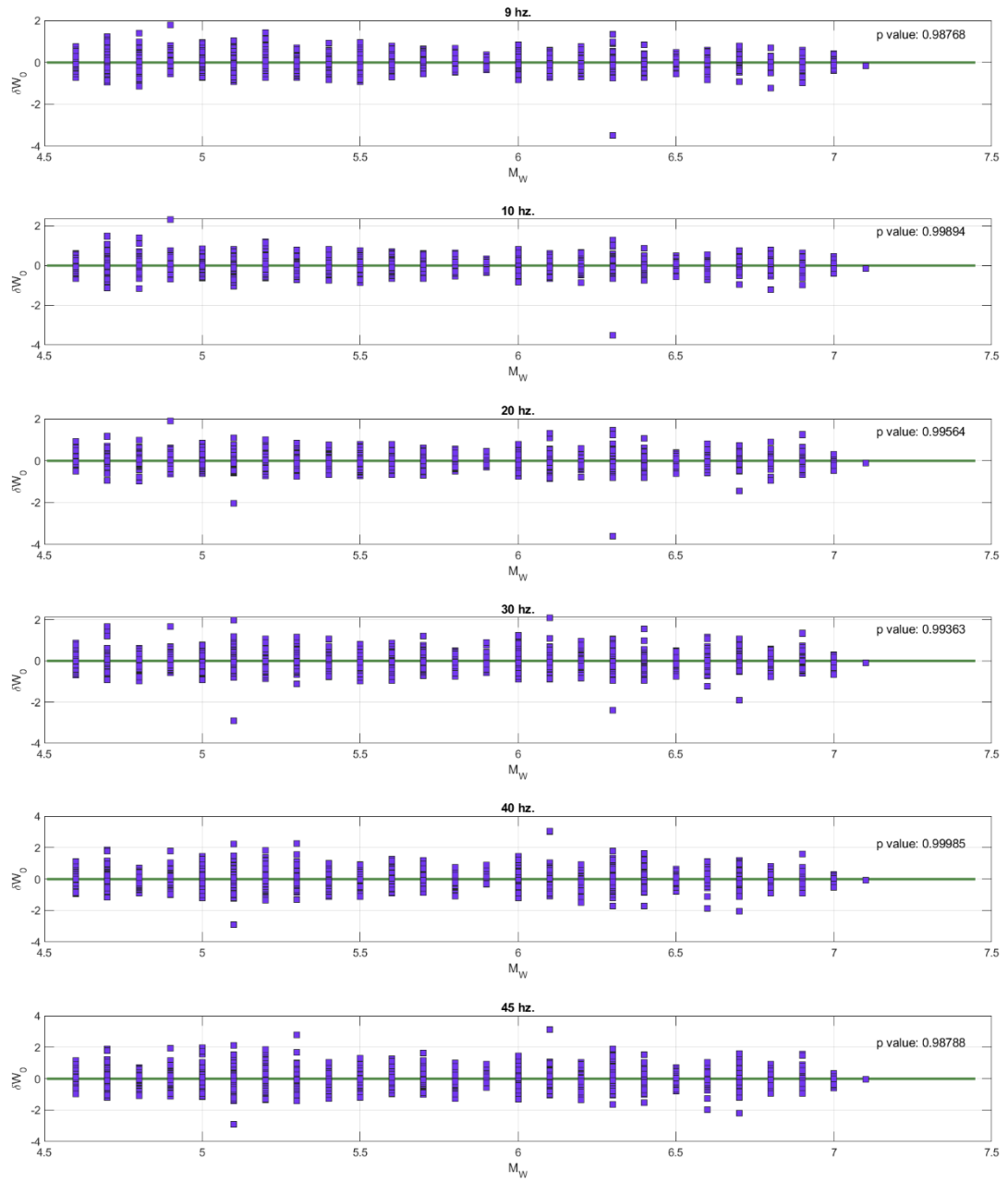


Figura A. 5.3.6 Residual δW_0 vs M_W para las frecuencias 9, 10, 20, 30, 40 y 45 Hz.

Tabla A. 5.3.3 *p value* para la pendiente del modelo lineal para el residual δW_0 vs M_W . Para el rango 3 a 45 Hz.

Frecuencia	Intercepto	Pendiente	P value
3	0.00014499	-2.6598E-05	0.997511663
4	0.000118277	-2.87561E-05	0.997173427
5	-0.000260974	5.30568E-05	0.994533722
6	-0.000284453	5.09958E-05	0.994572803
7	0.000673121	-0.000110953	0.987834233
8	0.000547767	-0.000100131	0.988404957
9	0.000441854	-0.000103581	0.98767745
10	-6.20138E-05	8.8137E-06	0.998936293
20	-0.000185764	3.48574E-05	0.995644995
30	0.000284774	-6.03093E-05	0.993630385
40	5.18872E-06	1.72833E-06	0.999853001
45	-0.000860877	0.000155902	0.987884297

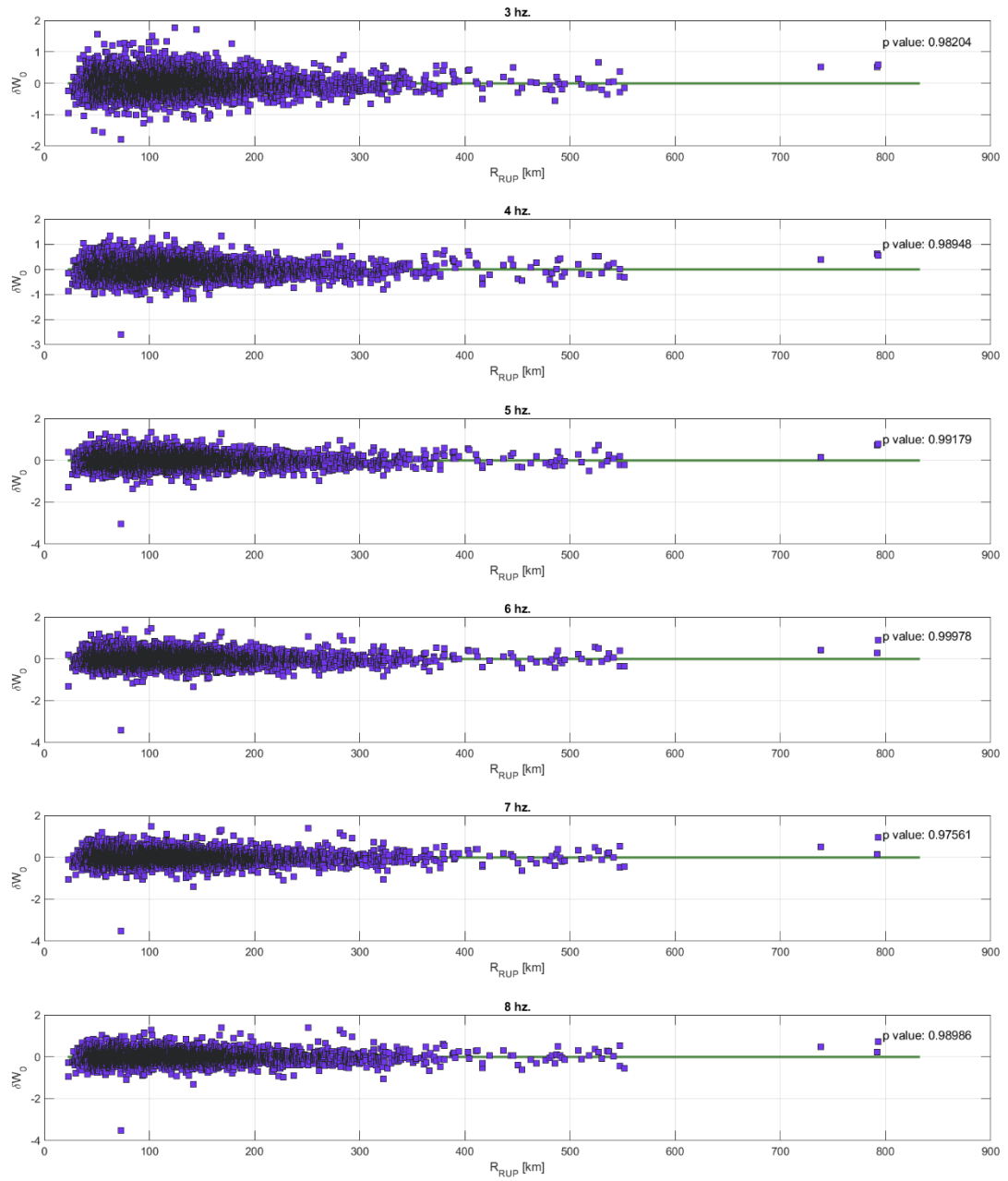


Figura A. 5.3.7 Residual δW_0 vs R_{RUP} para las frecuencias 3, 4, 5, 6, 7 y 8 Hz.

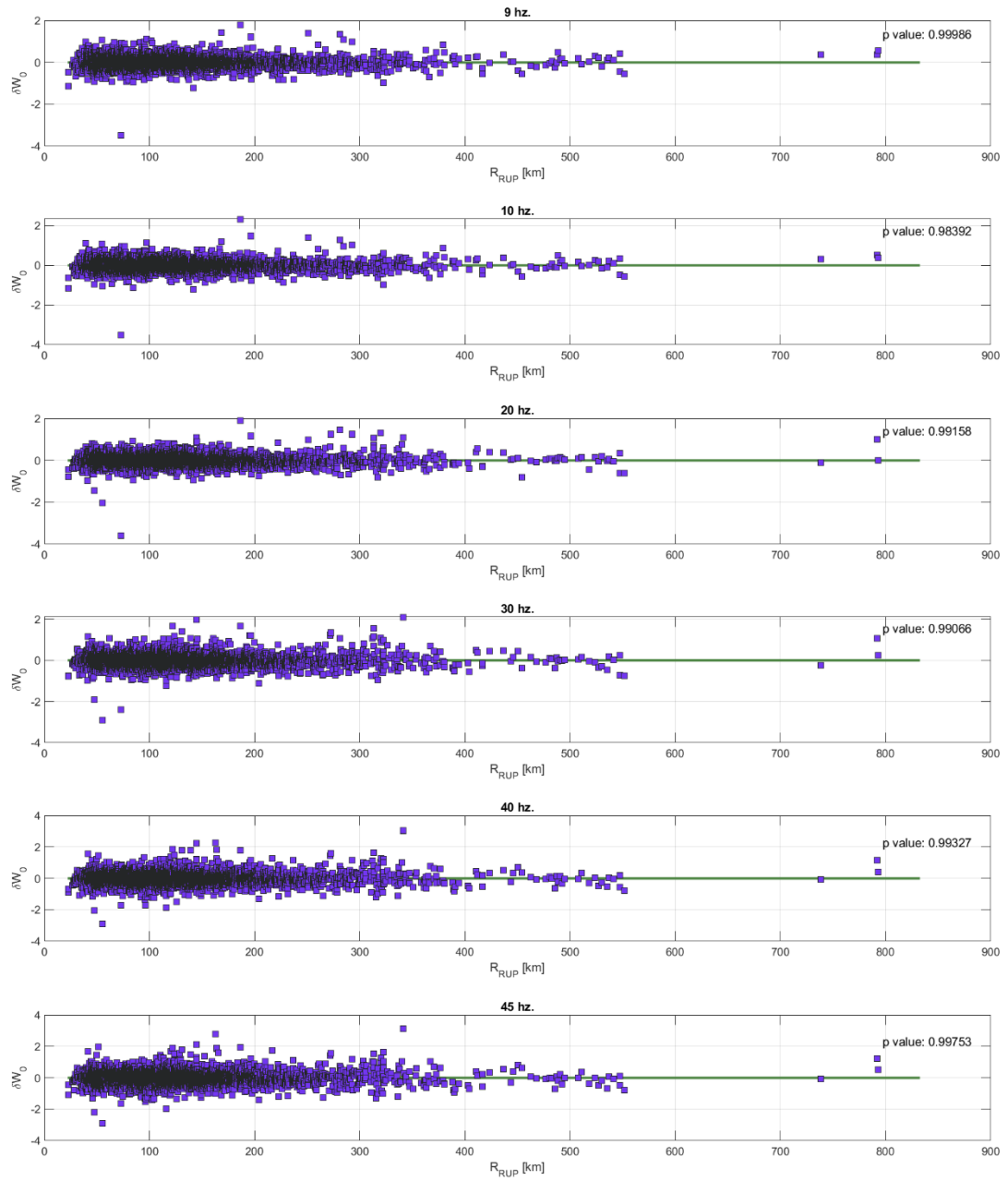


Figura A. 5.3.8 Residual δW_0 vs R_{RUP} para las frecuencias 9, 10, 20, 30, 40 y 45 Hz.

Tabla A. 5.3.4 *p value* para la pendiente del modelo lineal para el residual δW_0 vs R_{RUP} . Para el rango 3 a 45 Hz.

Frecuencia	Intercepto	Pendiente	P value
3	0.000210037	-1.58299E-06	0.982044022
4	7.87432E-05	-8.82879E-07	0.989477284
5	-5.91755E-05	6.57142E-07	0.991790573
6	-4.43755E-06	-1.74147E-08	0.999775267
7	0.000312127	-1.83437E-06	0.975613881
8	9.82525E-05	-7.22269E-07	0.989858224
9	-0.000123525	9.86988E-09	0.999857618
10	-0.000159723	1.0989E-06	0.983919417
20	-6.96765E-05	5.56102E-07	0.991575398
30	-0.000140322	7.2908E-07	0.990663027
40	-7.19438E-05	6.52713E-07	0.993268482
45	2.28602E-05	-2.62047E-07	0.997530553

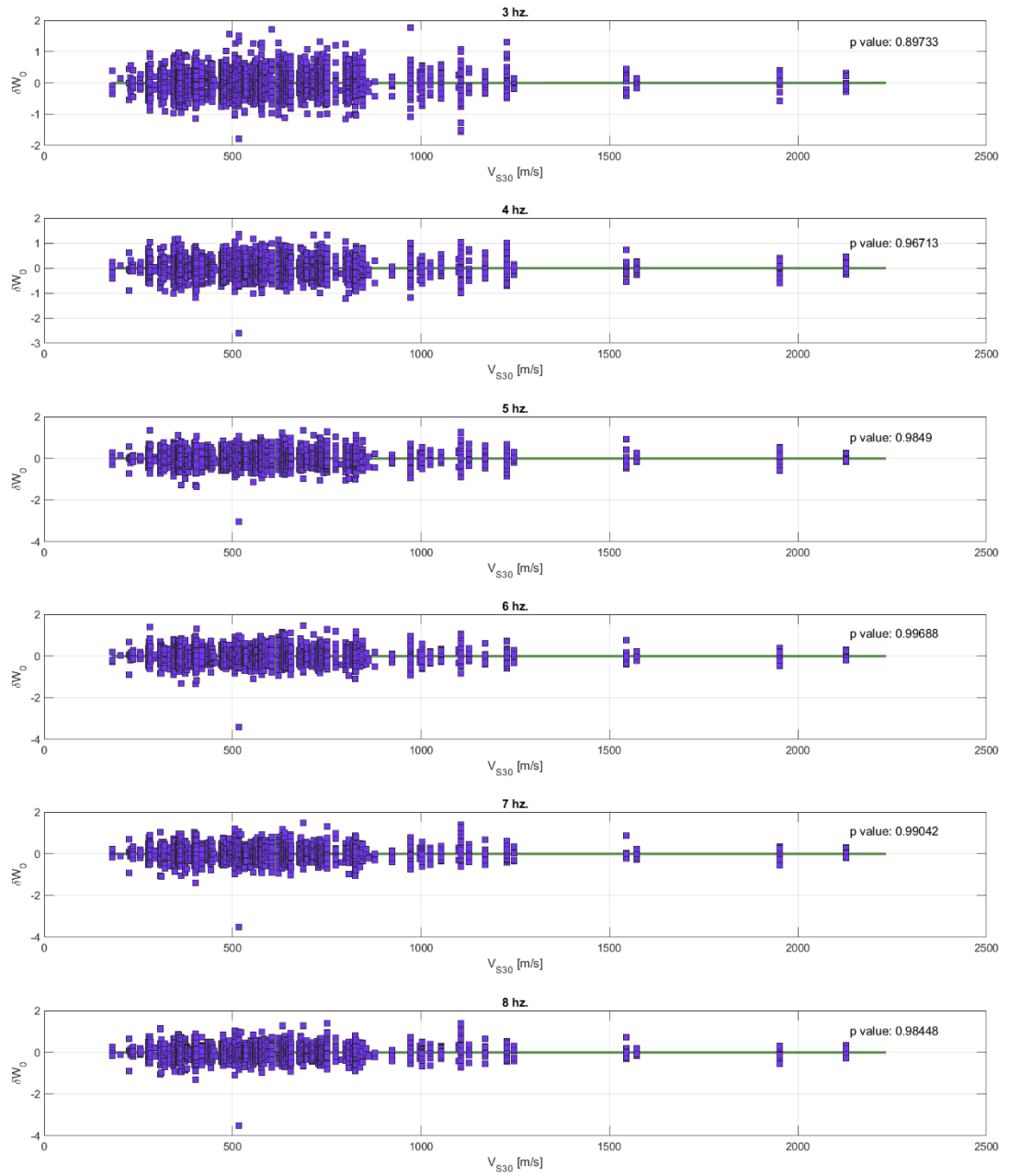


Figura A. 5.3.9 Residual δW_0 vs V_{S30} para las frecuencias 3, 4, 5, 6, 7 y 8 Hz.

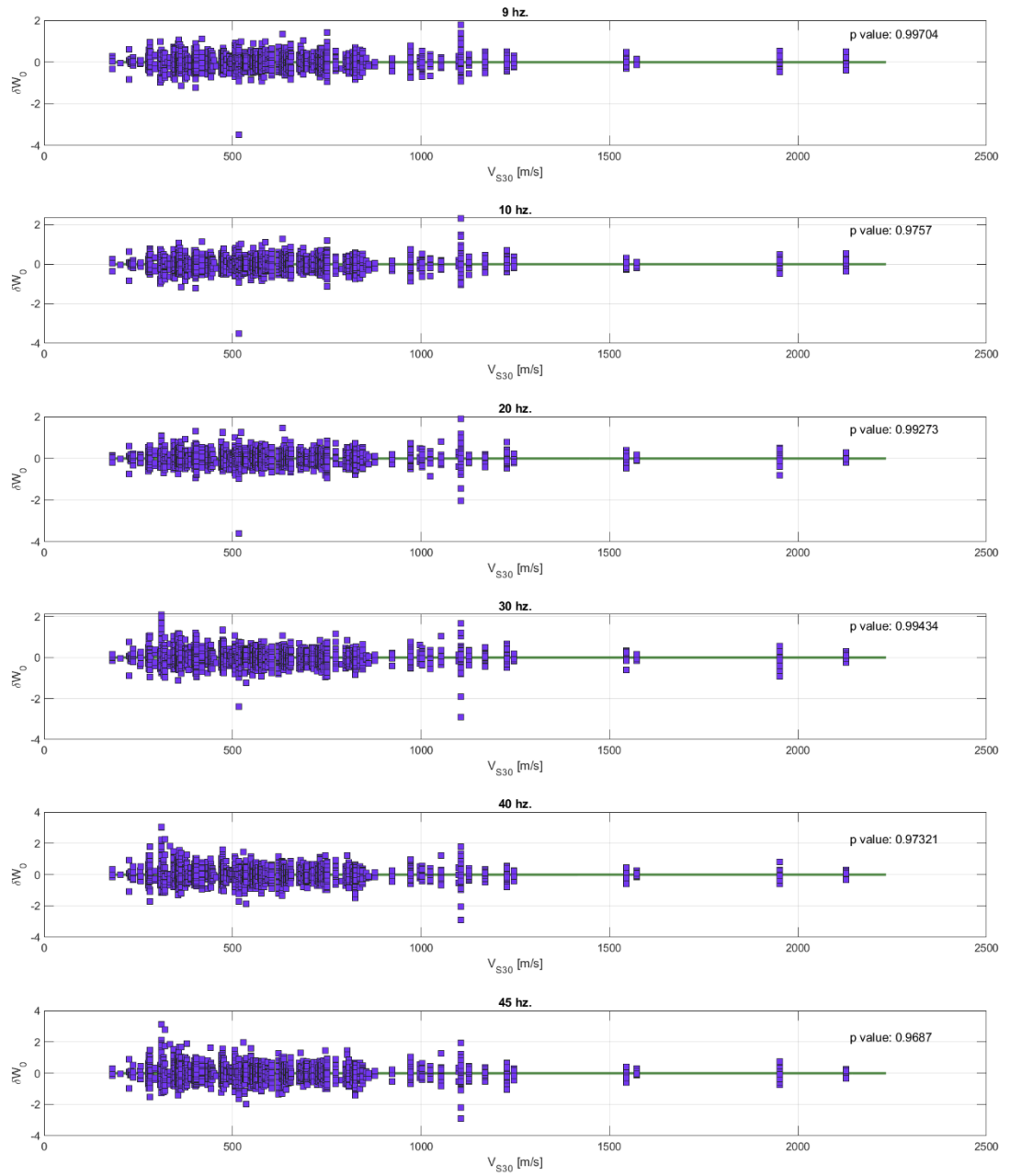


Figura A. 5.3.10 Residual δW_0 vs V_{S30} para las frecuencias 9, 10, 20, 30, 40 y 45 Hz.

Tabla A. 5.3.5 *p value* para la pendiente del modelo lineal para el residual δW_0 vs V_{S30} . Para el rango 3 a 45 Hz.

Frecuencia	Intercepto	Pendiente	P value
3	-0.00158	2.7E-06	0.897328
4	-0.00052	8.19E-07	0.967128
5	-0.00018	3.59E-07	0.984904
6	-4.9E-05	7.19E-08	0.996875
7	-5.6E-05	2.14E-07	0.99042
8	-0.00019	3.28E-07	0.984478
9	-0.00016	6.1E-08	0.997038
10	-0.0003	4.93E-07	0.975704
20	-7.9E-05	1.43E-07	0.99273
30	3.32E-05	-1.3E-07	0.994336
40	-0.00044	7.72E-07	0.973207
45	-0.00059	9.87E-07	0.968699

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA
RESUMEN DE MEMORIA DE TÍTULO

Departamento : Departamento de Ingeniería Civil
Carrera : Ingeniería Civil
Nombre del memorista : Maximiliano Luis Pablo Osses Valenzuela
Título de la memoria : Desarrollo de un Modelo Predictivo de Amplitudes de Fourier para Chile
Fecha de la presentación oral :

Profesor(es) Guía : Gonzalo Montalva Alvarado
Profesor(es) Revisor(es) : Patricio Cendoya Hernández, Matthew Miller
Concepto :
Calificación :

Resumen
<p>Este trabajo se enfocó en la generación de un modelo de amplitudes de Fourier para Chile, país altamente activo sísmicamente debido a su ubicación en la zona de subducción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana. Para ello, se recopilaron datos de registros de aceleración y metadatos, los cuales fueron procesados y analizados mediante técnicas de inferencia Bayesiana. Los resultados obtenidos corresponden a los coeficientes de la función que se utiliza para calcular el movimiento del suelo en diferentes frecuencias, extendiendo los valores de las amplitudes de Fourier hasta los 100 Hz. La validación del modelo se realiza a través del análisis de los residuos, lo que permite predecir el movimiento del suelo durante un terremoto y evaluar la capacidad de las estructuras para resistir los efectos producidos por un sismo.</p>