



ESTIMACIÓN DE LA MAGNITUD SÍSMICA MEDIANTE EL CONTENIDO ENERGÉTICO DE LA SEÑAL PARA LA ESTACIÓN SÍSMICA DE ÑAÑA DURANTE EL PERIODO 2011-2021

RENZO ANCHIVILCA & CÉSAR JIMÉNEZ
UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
XXII MEETING OF PHYSICS - LIMA



INTRODUCCIÓN

Los sismos han ocurrido desde hace mucho tiempo, y se hicieron conocidos por los mitos y leyendas que se formaron con el transcurso del tiempo. Estos eran explicados por el cansancio de uno de los ocho elefantes que cargaban la Tierra (hindúes) o por escalofríos que sufría la Tierra considerada como una criatura viva (algunos pueblos africanos). Actualmente se conoce que estos eventos son generados por la ruptura de una región de la corteza debido al movimiento relativo de placas tectónicas, y son registrados por sensores de posición (aparatos GNSS), velocidad (sismógrafos) y aceleración (acelerógrafos). Estos registros brindan información muy útil para la caracterización de cualquier sismo. Entre ellos, la magnitud es un parámetro que permite cuantificar el tamaño de estos eventos, y es actualmente calculada mediante escalas de magnitud. La escala de magnitud que permite cuantificar sismos de gran tamaño, debido a que no presenta problemas de saturación, es conocida como magnitud de momento M_w . En este trabajo se define una ecuación empírica de magnitud a partir de un modelo estadístico de regresión lineal múltiple, el cual permitirá calcular valores de este parámetro que son homólogos a la magnitud M_w .

MARCO TEÓRICO

Modelo de regresión lineal múltiple

El modelo de regresión lineal múltiple se expresa matemáticamente como:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_m x_{mi} + \epsilon_i = \hat{y}_i + \epsilon_i$$

, donde y_i es denominado variable endógena (valor teórico), x_{ji} son variables exógenas, ϵ_i es un término de residuo y β_j son parámetros que deben ser estimados para calcular nuevos valores $\hat{y}_i$ de la variable y_i .

Los parámetros β son calculados minimizando la suma de cuadrados de las desviaciones ϵ_i :

$$\min_{\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m} S = \sum_{i=0}^n \epsilon_i^2 = \sum_{i=0}^n (y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_{1j} + \dots + \beta_m x_{mj}))^2$$

Fórmula de Haversine

La distancia entre dos puntos ubicados sobre la superficie terrestre puede calcularse a partir de la fórmula de Haversine:

$$d = 2R \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{2} \right) + \cos \Phi_1 \cos \Phi_2 \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right)$$

donde (Φ_1, Φ_1) y (Φ_2, Φ_2) son las coordenadas geográficas de estos puntos (en rad), d es la distancia más corta entre esos puntos y R es el radio medio terrestre (6371 km).

Energía total de una señal discreta

La energía total en una señal discreta $x(n)$ en el intervalo de tiempo $1 < n < N$ se calcula como [Jiménez, 2010]:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N [x(n)]^2$$

donde N es el número total de datos.

METODOLOGÍA

Se definió una ecuación de magnitud M a partir del modelo de regresión lineal múltiple:

$$M = a \log E + b \log D + c \log H + d, \quad M_w = M + \epsilon$$

Esta ecuación toma en cuenta una variable endógena (M_w) y 3 variables exógenas (E , D y H). Para cada evento sísmico, el término D es la distancia epicentral respecto a la estación de Ñaña, H es la profundidad focal, M_w es la magnitud y E es el contenido energético de la 'señal' registrada.

Los valores de distancia epicentral D fueron calculados a partir de la fórmula de Haversine, mientras que el contenido energético de la 'señal' de cada evento sísmico fue calculado a partir de los registros sísmicos de las tres componentes de movimiento del suelo:

$$E_j = \frac{0,5}{3} \left(\sum_{i=1}^n [b_{ji}]_1^2 + \sum_{i=1}^n [b_{ji}]_2^2 + \sum_{i=1}^n [b_{ji}]_Z^2 \right)$$

El denominador 3 fue agregado para analizar la suma promedio de las

METODOLOGÍA

energías de cada registro sísmico. Por otro lado, los subíndices (1) y (2) representan los registros del movimiento en orientaciones similares a N-S y E-O, y (Z) representa los registros del movimiento en la orientación vertical.

Finalmente, los valores de magnitud M_w y profundidad focal H fueron obtenidos de un catálogo del *National Earthquake Information Center* (NEIC) que puede ser descargado gratuitamente de la plataforma brindada por el *Servicio Geológico de Estados Unidos* (USGS) [USGS, sf].

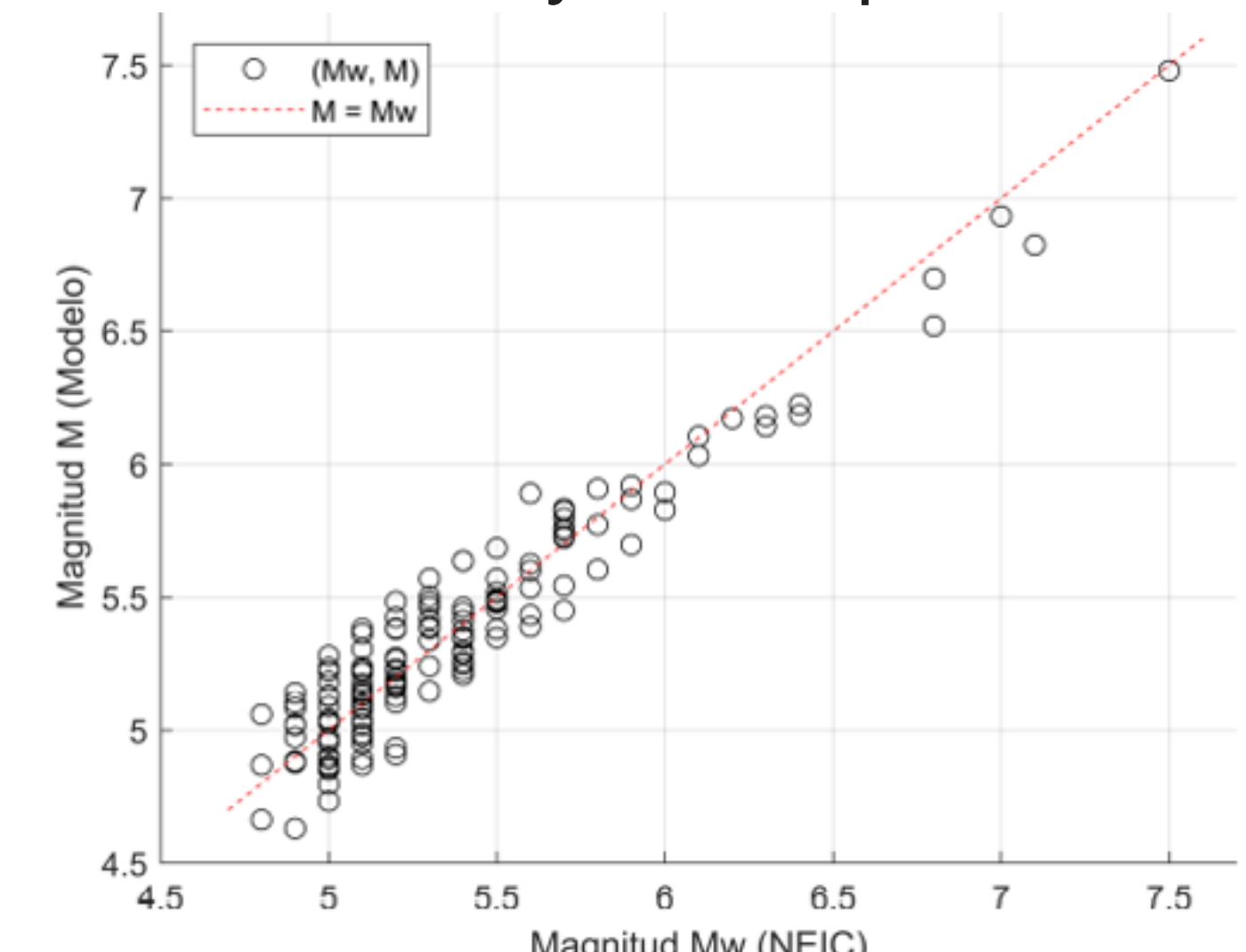
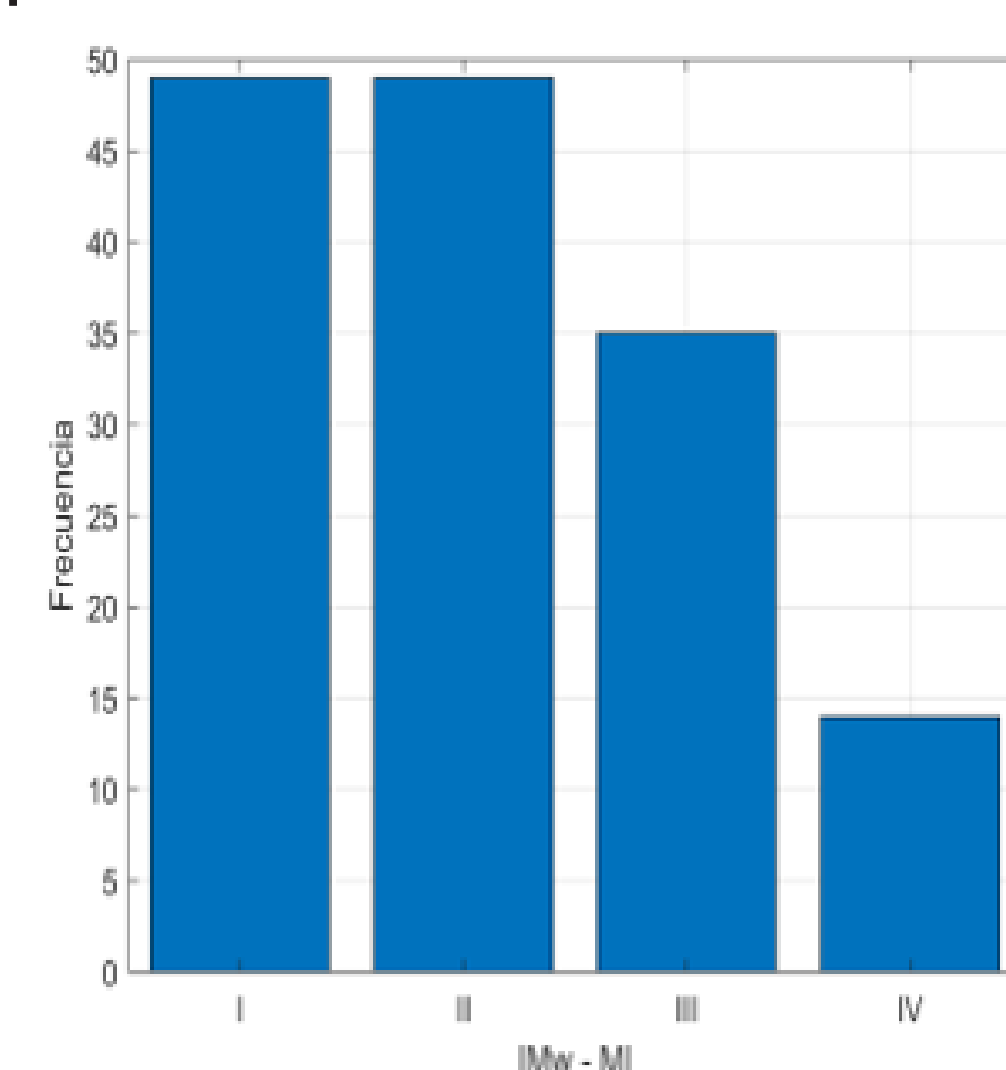
RESULTADOS

La ecuación de magnitud resultante es:

$$M = 0,431 \log(E) + 1,5226 \log(D) + 0,0861 \log(H) - 4,2997$$

, válida para eventos sísmicos que hayan sido registrados por el sismógrafo de VBB triaxial Streckeisen STS1 con Metrozet E300, hayan ocurrido a una distancia evento-estación menor a 10.5° y hayan tenido magnitudes mayores o iguales a 4.8.

Los valores de magnitud predichos por el modelo fueron comparados con los valores teóricos a partir de sus diferencias. A continuación se muestran un gráfico de barras de las diferencias $|M_w - M|$ aproximadas a la décima, y un gráfico de dispersión para ver que tan dispersos se encuentran estos valores respecto al caso ideal ($M = M_w$). Los casos comprendidos entre I y IV representan diferencias de magnitud $|M_w - M|$ aproximados a la décima iguales a 0, 0.1, 0.2 y 0.3 respectivamente.



CONCLUSIONES

De lo expuesto anteriormente se puede concluir:

- La ecuación obtenida es válida para eventos que hayan tenido una distancia evento-estación menor a 10.5° y magnitudes mayores o iguales a 4.8.
- El método permite obtener valores de magnitud aceptables, basándonos en las diferencias $|M_w - M|$ obtenidas.
- El parámetro E no presenta unidades de energía. Solo fue utilizado para cuantificar el movimiento del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[Jiménez, 2010] Jiménez, C. (2010). Cálculo de la magnitud sísmica para la estación de Ñaña. *Rev. Inv. Fis.*, 13(1):1-7.

[USGS, sf] USGS (s.f.). Earthquake Hazards Program. Latest Earthquakes: USGS.