

Determinación de una escala de magnitud local para República Dominicana

Bernardo Rosario Mercedes, Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, República Dominicana,
br8075@unphu.edu.do

Resumen

Citation: Rosario Mercedes, B. (2023). Determinación de una escala de magnitud local para República Dominicana. Proceedings of the 2023 Academy of Latin American Business and Sustainability Studies (ALBUS), Santo Domingo, Dominican Republic. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10155437>

La escala de magnitud local fue concebida por Charles Francis Richter en 1935. Esta escala, logarítmica, asigna un valor con el propósito de medir la cantidad de energía liberada durante un terremoto. El objetivo principal en la presente investigación es desarrollar una escala de magnitud local, para determinar el tamaño de los sismos en la República Dominicana, registrados por las estaciones del Centro Nacional de Sismología de la Universidad Autónoma de Santo Domingo y redes vecinas, como la Red Sísmica de Puerto Rico, el Servicio Geológico de los Estados Unidos, y el Servicio Geológico de Canadá. Esta propuesta, se realiza a partir de una base de datos de 149 sismos ocurridos en la República Dominicana entre los años 2016 y 2018, partiendo de la estructura matemática para escala de magnitud propuesta por Richter. Esta ecuación se puede escribir en forma matricial tomando en cuenta el número de eventos sísmicos, las estaciones que registran cada evento, el factor de corrección, la distancia epicentral, que son los parámetros que se relacionan con la dispersión geométrica, la atenuación inelástica y la máxima amplitud horizontal. Los resultados fueron comparados con el modelo utilizado en la actualidad en el Centro Nacional de Sismología, y otros modelos utilizados en otras regiones.

Palabras clave: Energía, Escala de Richter, Sismo, Sismología, Terremoto

Introducción

Frente la necesidad que tienen los países del mundo de salvaguardar la vida de sus ciudadanos y desarrollar estructuras civiles que puedan ser más seguras ante los desastres naturales tales como los sismos o terremotos, se hace imprescindible el desarrollo de métodos para medir la energía liberada por este tipo de eventos. La escala de magnitud local (*ML*); considera los movimientos que están en el rango de frecuencias que son de gran interés para las áreas de ingeniería, arquitectura y, construcción, de la misma forma; para las instituciones, tales como, agencias de regulación, planificación urbana, de estudios de riesgo sísmico, aplicación de normas de construcción y, en general, para los estudios de riesgos geológicos. Aunque ciertos países han establecido sus propias escalas de magnitud local, la República Dominicana aún no dispone de una escala propia. En el presente, calcula la magnitud local de los terremotos en el Centro Nacional de Sismología (CNS) con la fórmula propuesta por Richter para la región de California, cuyos coeficientes de expansión geométrica y atenuación anelástica, no fueron determinados para la República Dominicana puesto que estos coeficientes varían de un lugar a otro (país o región), lo cual influye en la exactitud de la magnitud local calculada y con ello la credibilidad de la institución.

Por esta razón es necesario e imprescindible obtener la ecuación de magnitud local con coeficientes propios para la República Dominicana, utilizando sismos originados en el país y así se podrá calcular, con mayor exactitud, la magnitud local de los sismos que se producen sobre este país. Este estudio pretende aportar una escala de magnitud local al Centro Nacional de Sismología de la República Dominicana, por lo que, es preciso plantear la relevancia del mismo en el marco

socioeconómico y profesional de esta nación, tomando en cuenta la utilidad y los beneficios que tendrá para el país, sin olvidar que servirá de referencia a futuros estudios al respecto.

Revisión de literatura

Al intentar explicar el fundamento que subyace al concepto de magnitud de un terremoto, podemos simplificarlo observando la figura 1, la cual se obtuvo de Boore en 1989. En esta figura, cada conjunto de datos refleja las amplitudes más significativas de un sismo específico. Wadati sugirió a Richter (Richter, 1935) un método para representar gráficamente las amplitudes del terreno en función de las distancias al epicentro.

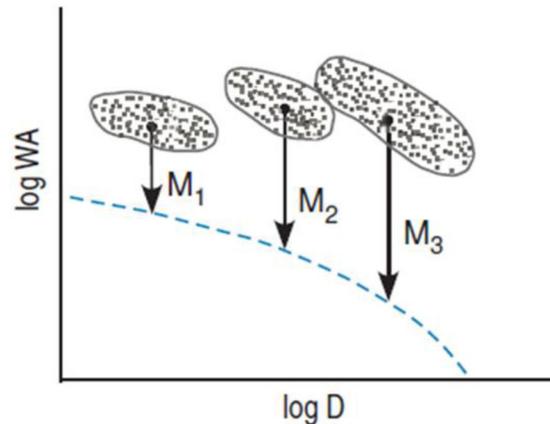


Figura 1. Gráfica que ilustra un procedimiento para estimar las magnitudes de los terremotos.

La representación gráfica Log WA corresponde al logaritmo de la amplitud máxima registrada en un sismómetro Wood-Anderson. Por otro lado, el logaritmo de la distancia epicentral se denota como Log D. Las áreas sombreadas en la gráfica indican las agrupaciones de datos de las amplitudes más grandes obtenidas en registros de un instrumento de torsión Wood-Anderson, para eventos sísmicos individuales. La curva punteada representa una curva de referencia definida por la atenuación promedio de las ondas. Los valores M_i representan los factores de ajuste necesarios para llevar cada conjunto de datos hacia la curva de referencia. Para minimizar una posible influencia geográfica en la curva de referencia, la magnitud local (ML) se define en función de la amplitud máxima registrada por un instrumento Wood-Anderson a una distancia específica (100 km). Es importante señalar que las curvas de referencia para diferentes regiones geográficas deben converger en el mismo punto en la distancia de definición. De esta manera, se establece un método que permite estimar las magnitudes de los sismos de manera comparativa y ajustada a la distancia epicentral (Boore, 1989).

Queda claramente evidenciado que el tercer sismo es de mayor magnitud que el segundo. Por consiguiente, si asumimos que, en promedio, la disminución de la amplitud con la distancia es constante para cada uno de los eventos sísmicos, la distancia vertical que debemos desplazar cada conjunto de datos para abarcar una curva de referencia que siga la forma de la función de atenuación promedio, minimizando el residual, sería una medida cuantitativa de la magnitud del sismo. Esta distancia, que está representada por M_1 , M_2 y M_3 , puede ser determinada mediante la ecuación:

$$M = \log(A) - \log(A_0)$$

En la cual A representa la mayor amplitud que es registrada por el instrumento y $\log(A_0)$ es la curva de referencia. Para que las magnitudes ML sean coherentes, es necesario establecer la atenuación de las ondas sísmicas en cada región y vincular las relaciones de magnitud entre distintas regiones con una distancia de referencia cercana a la fuente sísmica. La escala de magnitud local original para California fue establecida con este propósito. En la actualidad, la Asociación Internacional de Sismología y Física del Interior de la Tierra (IASPEI), Bormann, (2012) establece como estándar para sismos corticales (superficiales) en regiones con propiedades de atenuación similares a las del sur de California la siguiente recomendación:

$$ML = \log(A) + 1.11 \log(R) + 0.00189(R) - 2.09$$

Donde " A " representa la amplitud de la traza máxima en nanómetros (nm), medida en la componente horizontal filtrada para que la respuesta del sismógrafo imite la de un Wood-Anderson, pero con una amplificación estática de 1. " R " es la distancia hipocentral en kilómetros (km), generalmente menor a 1000 km. En el caso de estaciones que poseen dos componentes horizontales, las amplitudes se miden de manera independiente, y cada una se emplea de manera individual en el cálculo. Esta ecuación es una ampliación de la presentada por Hutton y Boore en 1987.

Materiales y métodos

En este estudio usamos un conjunto de datos, de los cuales elegimos 149 sismos que tuvieron lugar desde el 1 de enero de 2016 hasta el 31 de diciembre de 2018. Estos eventos sísmicos se localizaron dentro de la longitud -72.1° y -67.5° ; *latitud* 17.0° y 20.5° . El rango de magnitud de estos terremotos estudiados oscila entre 4 y 5.5 grados, tomados del catálogo sísmico del Centro Nacional de Sismología (CNS) en República Dominicana. Tanto los sismos como las estaciones debían cumplir los siguientes criterios: Los eventos debían ser medidos por un mínimo de 10 estaciones. Cada estación debe registrar un mínimo de 10 sismos. La magnitud mínima de los sismos debe ser de 4 grados. La diferencia entre la magnitud local y cada uno no debe exceder 0.1 grados. Encontramos 20 sismos y 24 estaciones con estas condiciones, de las cuales pudimos usar 310 mediciones de amplitud y distancia epicentral. Todo el procedimiento para extraer las medidas de cada sismo fue transcrito en un script usando Python.

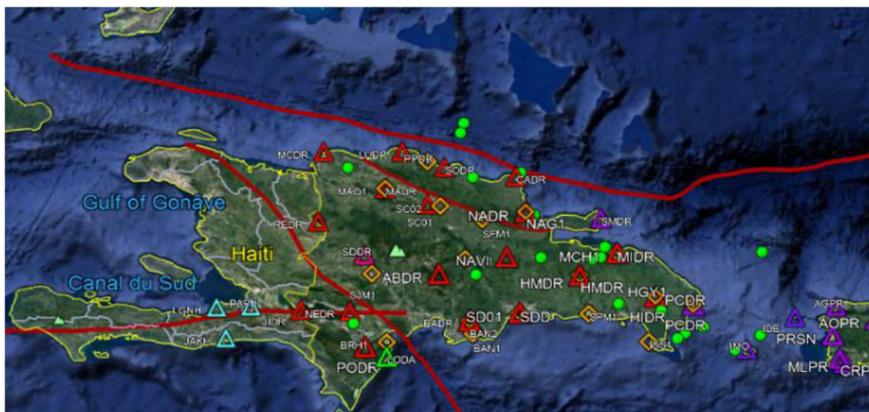


Figura 2. Visualiza la ubicación de los terremotos que fueron elegidos para desarrollar el modelo propuesto, así como también las fallas geológicas, acelerómetros y sismógrafos en la región (Rosario, 2023).

Una vez elaborada la lista de eventos y estaciones, nos encontramos con un sistema de ecuaciones de 310 ecuaciones para determinar las incógnitas de dispersión geométrica y las de atenuación Anelástica. La estructura de la ecuación que se utilizó en la conformación del sistema de ecuación para la regresión se basó en la ecuación por Hutton y Boore en 1987 para calcular la magnitud local.

$$-\log A_{ij} = n \log(r_{ij}) + K(r_{ij}) + 3.0 - M_{Li} + S_j$$

Donde "n" y "K" son los parámetros se relacionan con la dispersión geométrica y la atenuación anelástica, respectivamente. "A_{ij}" se refiere a la máxima amplitud horizontal del i-ésimo evento observada en la j-ésima componente de la estación. "r_{ij}" es la distancia epicentral entre el i-ésimo evento y la j-ésima componente de la estación. "M_{Li}" denota la magnitud local del i-ésimo evento, mientras que "S_j" es el factor de corrección para la j-ésima componente de la estación.

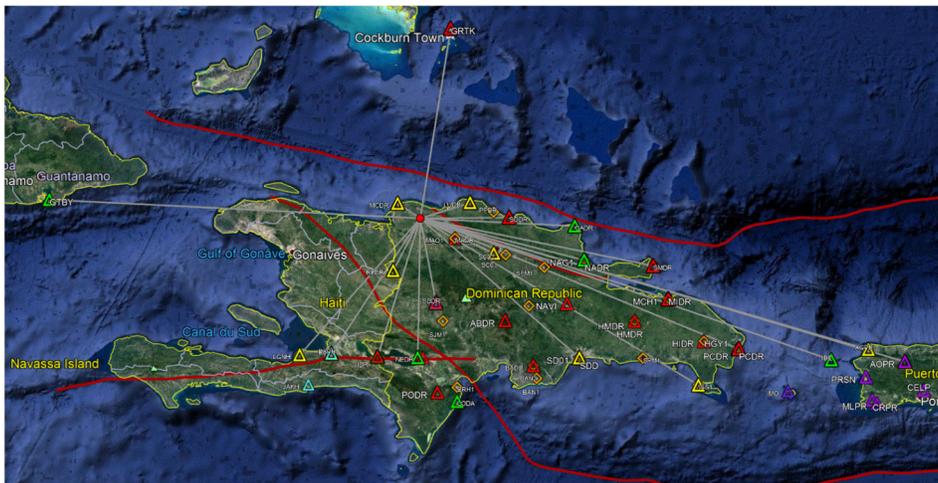


Figura 3. Sismo ocurrido 02 de enero del 2016 a las 15:25. Uno de los sismos usados para la construcción de este modelo (Rosario, 2023).

Para resolverlo usamos un método estándar de resolución de sistemas sobre determinados basado en la técnica de regresión lineal múltiple.

Resultados

En este trabajo encontramos un modelo o ecuación matemática para predecir la magnitud local de los sismos registrados en el catálogo CNS.

$$M_L = \log(A) + 0,47237789 \log(r/100) + 0,0023670713(r-100) - 0.9150$$

Este modelo propuesto tiene un coeficiente de determinación (**R**²) de 0.88195 y este valor nos revela que las dos variables independientes (La Amplitud Máxima y La Distancia Epicentral del evento) usadas en el análisis explican la varianza de la variable dependiente (la magnitud local del evento) en un 88.2%, lo que nos indica un buen ajuste del modelo y que el cambio en las variables independientes (Amplitud Máxima y Distancia Epicentral) explica el cambio en la

variable dependiente en un 88.2% . Sabemos que el valor del coeficiente de determinación R^2 nos permite evaluar la bondad del ajuste, dado que el coeficiente R^2 es igual a 0.88195 y es cercano a uno (1) significa que el modelo es confiable para realizar los cálculos de magnitud local con las variables independientes, Amplitud Máxima y La Distancia Epicentral del sismo. Y Si por el contrario el coeficiente se hubiese acercado a cero (0), se considera que el modelo no es confiable para calcular la magnitud con las variables independientes. De la aplicación de la regresión lineal múltiple para todos de datos del catálogo se obtuvieron los valores de dispersión geométrica $n = 0,47237789$ y de atenuación anelástica $K = 0,0023670713$, permitiéndonos definir un factor de atenuación $-\log A_0$ como:

$$-\log A_0 = 0,47237789 \log(r/100) + 0,0023670713(r - 100) + 3.0$$

Uno de los propósitos de este estudio es contrastar la función de atenuación obtenida con las correspondientes de otras áreas geográficas. Dichas áreas son aquellas para las que también se ha determinado una escala de magnitud local. En la figura 17 se exhibe el comportamiento de la función de atenuación $-\log A_0$ en conjunto con aquellas de otras regiones. En este análisis comparativo se han incorporado las curvas obtenidas en el noreste de México (Paz, 2017), Perú (Condori y Tavera, 2017), así como las curvas de Estados Unidos (sur de California; Hutton y Boore, 1987) y el centro (Miao y Langston, 2007).

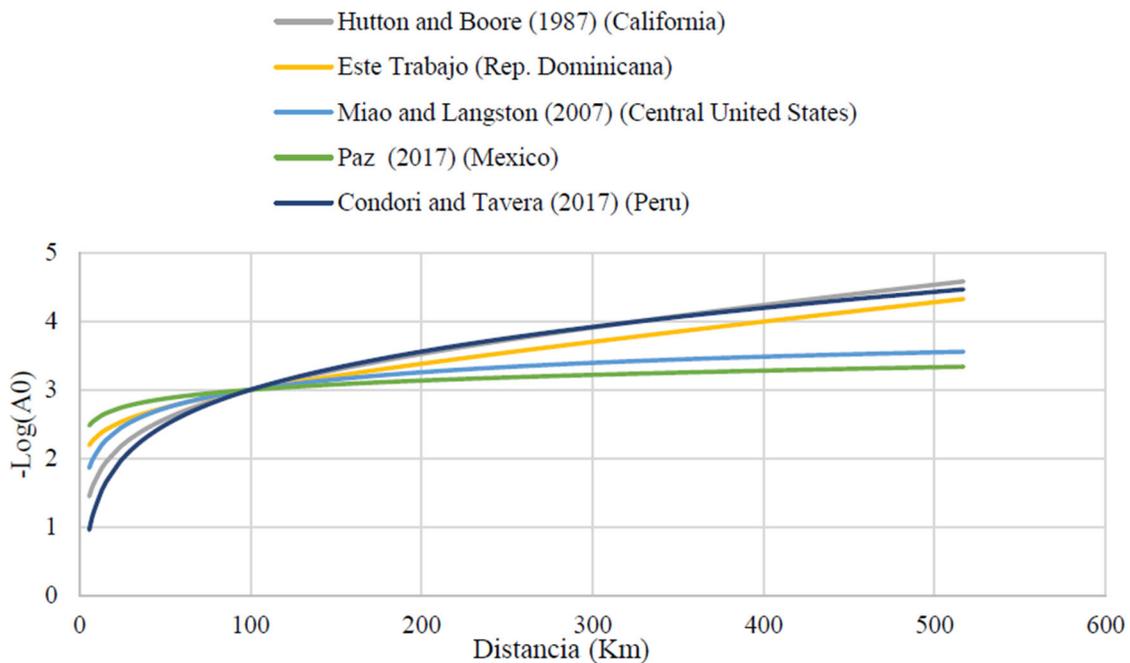


Figura 4. Comparación de $-\log A_0$ para la Republica Dominicana y otras regiones (con 20 sismos (Rosario, 2023)).

El modelo propuesto, al ser comparado con todo el catálogo de datos el cual consta de 1,024 sismos.

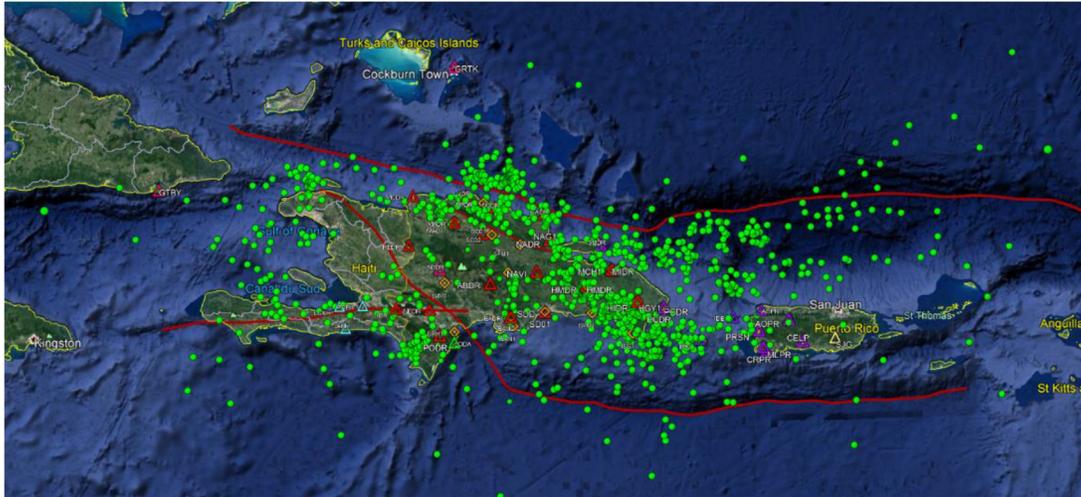


Figura 5. Localización geográfica de los 1,024 terremotos registrados entre los años 2016 y 2018, que fueron seleccionados y empleados para llevar a cabo el análisis estadístico-comparativo entre nuestro modelo y el modelo del software Seisan (Rosario, 2023).

Este modelo propuesto, al ser analizado y comparado con todo el catálogo sísmico del periodo 2016 a 2018, presenta un coeficiente de determinación (R^2) de 0,945418952. Lo que nos indica un mejor ajuste del modelo aplicándolo a una mayor cantidad de sismos que al compararlos con los veinte sismos usados para la construcción del modelo. Este valor ahora nos dice que las dos variables independientes (La Amplitud Máxima y La Distancia Epicentral del evento) usadas en el análisis explican la varianza de la variable dependiente (la magnitud local del evento) en un 94.54%.

Tabla 1. Análisis estadístico descriptivo de los resultados obtenidos a través del modelo desarrollado en este estudio y del modelo utilizado por el software SEISAN (Rosario, 2023).

	<i>MI Propuesta</i>	<i>MI Seisan</i>
Media	3.02995931	3.15126525
Error típico	0.00658536	0.0068463
Mediana	2.92939465	3.05265091
Moda	1.06487045	0.83432107
Desviación estándar	0.78049751	0.81142322
Varianza de la muestra	0.60917636	0.65840765
Curtosis	1.31091152	1.30473597
Coefficiente de asimetría	0.66340977	0.57574116
Rango	11.178602	11.8813819
Mínimo	0.14727565	-0.46950038
Máximo	11.3258777	11.4118815
Suma	42561,8384	44265,823
Cuenta	14047	14047

Aplicando herramientas básicas de estadística descriptiva cuyos resultados se muestran en la tabla en la tabla 4.1 en forma de resumen comparativo entre el modelo propuesto por este estudio y el modelo utilizado por el SEISAN.

El error típico, la desviación estándar, la curtosis y el cociente de asimetría del modelo Seisan presentan valores mayores que del modelo propuesto en este estudio, lo que nos indica que:

1. La desviación estándar del Seisan es mayor que la del modelo propuesto, su intervalo de confianza será mayor, de ahí el modelo propuesto tendrá estimaciones de magnitud más precisas.
2. El coeficiente de asimetría es negativo en ambos modelos; entonces la distribución es asimétrica a la izquierda.
3. El coeficiente de Curtosis para ambos modelos es mayor que cero, por tanto, los datos tendrán una distribución Leptocúrtica (los datos están poco dispersos).

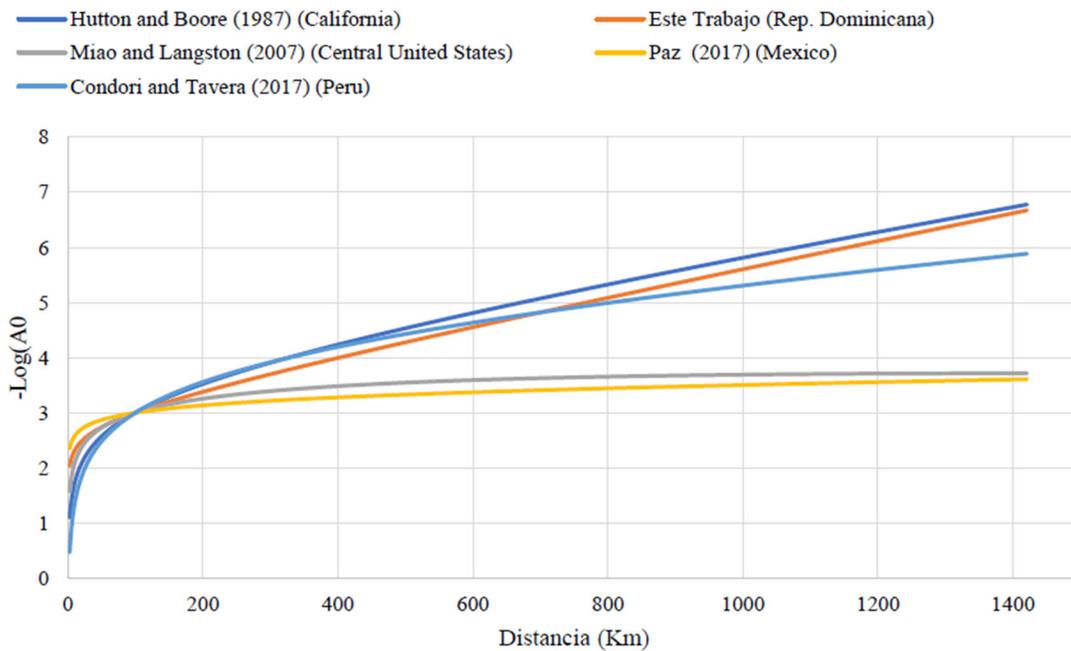


Figura 6. Comparación de $-\log A_0$ para la República Dominicana y otras regiones (usando el catálogo sísmico completo del periodo 2016 a 2018) (Rosario, 2023).

Conclusiones

En este trabajo se obtuvo una ecuación que permite estimar la Magnitud local de los terremotos registrados por la red sísmica de la República Dominicana.

$$Ml = \log(A) + 0,47237789 \log(r/100) + 0,0023670713(r-100) - 0.9150$$

El modelo elaborado en esta investigación constituye la primera magnitud local (MI) calculada específicamente para la República Dominicana, basándonos en los valores disponibles de máxima amplitud y distancia epicentral de los registros del Centro Nacional De Sismología de 310 medidas correspondientes a 20 sismos. Se creó una base de datos que contiene los registros de las componentes horizontales de las estaciones. CADR, GRTK, HIDR, JIDR, LUDR, MADR,

MCDR, MIDR, NADR, NEDR, PCDR, PODR, REDR, SADR, SC01, SDD, SDDR, SMDR, SODR, SPM1, ABDR, CRPR, AGPR, AOPR, en el período de 2016 a 2018.

El modelo también fue comparado con todos los sismos ocurrido en el periodo 2016 a 2018. Con los registros usados, como las amplitudes y las distancias epicentrales, estos permitieron encontrar la función de corrección de distancia $-\log A_0$ (que incluye también los valores de dispersión geométrica $n = 0.447237789$ y atenuación Anelástica $K = 0.00236707$). La ecuación de $-\log A_0$ que se obtuvo fue:

$$-\log A_0 = 0,47237789 \log(r/100) + 0,0023670713(r-100) + 3.0$$

Cuando se comparó la función de corrección de distancia $-\log A_0$ que, obtenida para República Dominicana, con las que se han calculado para las otras regiones usadas en la figura 19, se pudo notar una menor atenuación con la distancia con respecto a California (que es la función de atenuación de distancia usada por el Seisan actualmente), y a Perú. Y mayor atenuación con la distancia con respecto a México y al centro de estados unidos. El objetivo de este estudio, junto con sus hallazgos, radica en contribuir al avance en la comprensión de los terremotos en la República Dominicana. La disponibilidad de esta escala de magnitud local, específicamente aplicable a los sismos que acontecen en dicho país, representa una valiosa contribución para la realización de futuras investigaciones sísmicas en la región.

Referencias

- Anderson, J. y Wood, H. O. (1925). Description and theory of the torsion seismometer. Bulletin of the Seismological Society of America 15(1), 1–72. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/15/1/1/114797/Description-and-theory-of-the-torsion-seismometer>
- Askari, R., Ghods, A. y Sobouti, F. (2009). Calibration of an ML scale in the Alborz region, Northern Iran. Bulletin of the Seismological Society of America 99(1), 268–276. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/99/1/268/342013/Calibration-of-an-ML-Scale-in-the-Alborz-Region>
- Bakun, W. H. y Joyner, W. B. (1984). The ML scale in central California. Bulletin of the Seismological Society of America 74(5), 1827–1843. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/74/5/1827/118689/The-ML-scale-in-central-California>
- Bakun, W. y Lindh, A. (1977). Local magnitudes, seismic moments, and coda durations for earthquakes near Oroville, California. Bulletin of the Seismological Society of America 67(3), 615–629. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/67/3/615/117683/Local-magnitudes-seismic-moments-and-coda>
- Bakun, W., Houck, S. y Lee, W. (1978). A direct comparison of “synthetic” and actual Wood-Anderson seismograms. Bulletin of the Seismological Society of America 68(4), 1199–1202. <https://pascalfrancis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCAL7930175760>
- Baumbach, M., Bindi, D., Grosser, H., Milkereit, C., Parolai, S., Wang, R., Karakisa, S., Zunbul, S. y Zschau, J. (2003). Calibration of an ML scale in Northwestern Turkey from 1999 Izmit aftershocks. Bulletin of the Seismological Society of America 93(5), 2289–2295. https://www.seismosoc.org/Publications/BSSA_html/bssa_93-5/02157.html

- Bindi, D., Spallarossa, D., Eva, C. y Cattaneo, M. (2005). Local and duration magnitudes in Northwestern Italy, and seismic moment versus magnitude relationships. *Bulletin of the Seismological Society of America* 95(2), 592–604. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2005BuSSA..95..592B/abstract>
- Bobbio, A., Vassallo, M. y Festa, G. (2009). A local magnitude scale for southern Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America* 99(4), 2461–2470. <https://www.earth-prints.org/handle/2122/6049>
- Bockholt, B. M., Langston, C. A. y Withers, M. (2015). Local magnitude and anomalous amplitude distance decay in the Eastern Tennessee Seismic Zone. *Seismological Research Letters* 83(4), 1040–1050. <https://digitalcommons.memphis.edu/facpubs/1492/>
- Boore, D. M. (1989). The Richter scale: its development and use for determining earthquake source parameters. *Tectonophysics* 166(1), 1–14. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/004019518990200X>
- Bragato, P. L. y Tiento, A. (2005). Local magnitude in Northeastern Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America* 95(2), 579–591. https://www.seismosoc.org/Publications/BSSA_html/bssa_95-2/04100.html
- Condori, C., Tavera, H., Marotta, G. S. A., Rocha, M. P., & França, G. S. (2017). Calibration of the local magnitude scale (M_L) for Peru. *Journal of Seismology*, 21(4), 987–999. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10950-017-9647-3>
- Deichmann, N. (2006). Local magnitude, a moment revisited. *Bulletin of the Seismological Society of America* 96(4A), 1267–1277. https://www.seismosoc.org/Publications/BSSA_html/bssa_96-4a/05115.html
- Del Pezzo, E. y Petrosino, S. (2001). A local-magnitude scale for Mt. Vesuvius from synthetic Wood-Anderson seismograms. *Journal of Seismology* 5(2), 207–215. <https://www.proquest.com/openview/bffa768bd2ed524598cd70344f1948a1/1?pq-origsite=gscholar&cbl=105400>
- Gonzalez, M., Vidal, A. y Munguía, L. (2006). An M_L scale for the La Paz–Los Cabos region, Baja, California Sur, México. *Bulletin of the Seismological Society of America* 96(4A), 1296–1304. https://www.seismosoc.org/Publications/BSSA_html/bssa_96-4a/05196.html
- Gutenberg, B. y Richter, C. (1942). Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration. *Bulletin of the Seismological Society of America* 32(3), 163–191. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1363107370334082944>
- Gutenberg, B. y Richter, C. F. (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America* 34(4), 185–188. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/84/6/2008/119883/On-the-correlation-of-observed-Gutenberg-Richter-s>
- Hutton, L. y Boore, D. M. (1987). The M_L scale in southern California. *Bulletin of the Seismological Society of America* 77(6), 2074–2094. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/77/6/2074/119025/The-ML-scale-in-Southern-California>
- Jennings, P. C. y Kanamori, H. (1983). Effect of distance on local magnitudes found from strong-motion records. *Bulletin of the Seismological Society of America* 73(1), 265–280. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/73/1/265/118400/Effect-of-distance-on-local-magnitudes-found-from>

- Johnston, A. C. y Schweig, E. S. (1996). The enigma of the New Madrid earthquakes of 1811-1812. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 24(1), 339–384. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1361418518899873920>
- Kanamori, H. (1977). The energy release in great earthquakes. *Journal of Geophysical Research* 82(20), 2981–2987. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1977JGR....82.2981K/abstract>
- Kanamori, H. (1983). Magnitude scale and quantification of earthquakes. *Tectonophysics* 93(3-4), 185–199. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0040195183902731>
- Kanamori, H. y Jennings, P. C. (1978). Determination of local magnitude, ML, from strong-motion accelerograms. *Bulletin of the Seismological Society of America* 68(2), 471–485. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/68/2/471/117839/Determination-of-local-magnitude-ML-from-strong?redirectedFrom=fulltext>
- Kanamori, H., Mori, J., Hauksson, E., Heaton, T. H., Hutton, L. K. y Jones, L. M. (1993). Determination of earthquake energy release and ML using TERRAScope. *Bulletin of the Seismological Society of America* 83(2), 330–346. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/83/2/330/119659/Determination-of-earthquake-energy-release-and-ML>
- Langston, C. A., Brazier, R., Nyblade, A. A. y Owens, T. J. (1998). Local magnitude scale and seismicity rate for Tanzania, East Africa. *Bulletin of the Seismological Society of America* 88(3), 712–721. <https://digitalcommons.memphis.edu/facpubs/1391/>
- Li, B., Havskov, J., Ottemöller, L. y Sørensen, M. B. (2015). New magnitude scales ML and spectrumbased Mw for the area around Shanxi Rift System, North China. *Journal of Seismology* 19(1), 141–158. <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.springer-c811da36-645f-3299-b2e2-165f0b0163d3>
- Ortega, R. y Quintanar, L. (2005). A study of the local magnitude scale in the basin of Mexico: mutually consistent estimates of logA0 and ground-motion scaling. *Bulletin of the Seismological Society of America* 95(2), 605–613. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/95/2/605/146867/A-Study-of-the-Local-Magnitude-Scale-in-the-Basin>
- Paz Martínez, E. (2017). Determinación De Una Escala De Magnitud Local Para El Noreste De México. Maestría. Universidad Autónoma De Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/14366/>
- Richter, C. F. (1935). An instrumental earthquake magnitude scale. *Bulletin of the Seismological Society of America* 25(1), 1–32. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/25/1/1/115102/An-instrumental-earthquake-magnitude-scale>

Autor



El Licenciado Bernardo Rosario Mercedes (OrcID 0000-0003-2778-2332) es profesor en La Escuela de Administración de Empresas de la Facultad de Ciencias Económicas y Sociales de la Universidad Nacional Pedro Henríquez (UNPHU), en Santo Domingo, República Dominicana. Pertenece a la Carrera Nacional de Investigadores de la República Dominicana. Ha trabajado en proyectos nacionales e internacionales.