

*Anteproyecto de Tesis* 13 de agosto de

# 2025



Sustentante:  
**Lic. Carlos Ramirez**  
Candidato a Maestro en Física

**“Hacia una Mejor Estimación de la Magnitud Sísmica: Un Nuevo Modelo de Atenuación y Calibración de la Escala ML para la República Dominicana utilizando data extraída con inteligencia artificial”.**



**Universidad Autónoma de Santo Domingo**  
**Facultad de Ciencias**  
**Escuela de Física**  
**maestría en física**  
**promoción 2019-2021**

**“Hacia una mejor estimación de la magnitud sísmica: un nuevo modelo de atenuación y calibración de la escala ML para la Republica Dominicana utilizando data extraída con inteligencia artificial”.**

Anteproyecto de tesis para optar por el título de:  
**Maestro en Física**

Sustentante:

**Lic. Carlos Ramirez**  
[cramirez27@uasd.edu.do](mailto:cramirez27@uasd.edu.do)

Coordinador:

Asesores:

**Jottin Leonel, MsC.**  
[@uasd.edu.do](mailto:@uasd.edu.do)

**Eugenio Polanco MsC.**  
[@uasd.edu.do](mailto:@uasd.edu.do)

*Santo Domingo, Ciudad Universitaria*  
*Distrito Nacional*  
*13 de agosto del 2025*

## Contenido

Anteproyecto de Tesis .....	1
Siglas y acrónimos.....	4
Introducción.....	4
Capítulo I: Marco General de la Investigación .....	5
Antecedentes de investigación .....	5
Justificación.....	5
Delimitación de la investigación .....	5
Planteamiento Del Problema .....	5
Objetivos .....	6
Variables.....	6
Cuadro de operacionalización de variables e indicadores.....	7
Hipótesis.....	8
Capitulo II: Marcos de referencia.....	8
Marco histórico .....	8
Marco Contextual .....	9
Marco Teórico.....	9
Marco Legal.....	9
Marco conceptual o definición de términos.....	9
Capitulo III: Metodología o diseño metodológico .....	9
Fuentes de información .....	9
Tipo de investigación .....	9
Enfoque de la investigación .....	9
Método utilizado en la investigación.....	9
Población y Muestra .....	10
Técnicas de investigación.....	10
Instrumentos de investigación.....	10
Referencias bibliográficas .....	10
Anexos.....	10
Índice Tentativo .....	10
Cronograma .....	11
Presupuesto .....	11

## Siglas y acrónimos

ML: Magnitud Local

Mw: Magnitud de Momento

CNS-UASD: Centro Nacional de Sismología de la Universidad Autónoma de Santo Domingo

RSNC-SGC: Red Sismológica Nacional de Colombia - Servicio Geológico Colombiano

## Introducción

La República Dominicana se encuentra en una región de alta actividad sísmica debido a su ubicación en el borde de la placa del Caribe. La correcta evaluación del peligro sísmico es fundamental para la planificación urbana, el diseño de infraestructuras y la gestión de riesgos. Una de las variables más importantes para esta evaluación es la magnitud de los terremotos. La escala de magnitud local (ML), desarrollada por Charles Richter, es una de las más utilizadas a nivel mundial para sismos de tamaño pequeño a moderado. Sin embargo, la precisión de esta escala depende de una calibración adecuada a las condiciones geológicas y tectónicas de la región donde se aplica.

Actualmente, en la República Dominicana, es posible que las estimaciones de ML se basen en modelos de atenuación genéricos o desarrollados para otras regiones, como California, lo que puede introducir incertidumbres significativas en los catálogos sísmicos. Este proyecto de investigación tiene como objetivo principal desarrollar un modelo de atenuación de ondas sísmicas específico para la República Dominicana y, a partir de él, calibrar la escala de magnitud local (ML). Para ello, se utilizará una metodología similar a la empleada en el estudio "Calibration of Local Magnitude Scale for Colombia" (Muñoz Lopez et al., 2020), pero tratando el territorio dominicano como una única región sísmica.

La investigación se estructura en tres capítulos. El primero presenta el marco general de la investigación, incluyendo el planteamiento del problema, los objetivos y la hipótesis. El segundo capítulo desarrolla los marcos de referencia teóricos, contextuales e históricos. Finalmente, el tercer capítulo detalla el diseño metodológico que se seguirá para la recolección y análisis de datos, culminando con la propuesta de la nueva calibración de la escala ML.

## Capítulo I: Marco General de la Investigación

### Antecedentes de investigación

La calibración de la escala de magnitud local (ML) ha sido un tema de investigación fundamental en sismología desde su creación. Estudios como los de Hutton y Boore (1987) en el sur de California han sido la base para muchas redes sísmicas. Más recientemente, el trabajo de Muñoz Lopez et al. (2020) en Colombia demostró la importancia de la zonificación y la calibración local para corregir subestimaciones en la magnitud de los sismos. Este estudio dividió el territorio colombiano en cinco zonas y calculó funciones de corrección de distancia para cada una, logrando una mayor concordancia con la magnitud de momento (Mw). Estos antecedentes demuestran la necesidad y la viabilidad de realizar calibraciones locales de la escala ML para mejorar la precisión de los catálogos sísmicos.

### Justificación

Una estimación precisa de la magnitud de los sismos es crucial para la evaluación del peligro sísmico. En la República Dominicana, un país con un historial de terremotos destructivos, contar con un catálogo sísmico robusto y fiable es una prioridad. Una calibración local de la escala ML permitirá reducir las incertidumbres en las magnitudes reportadas, lo que a su vez mejorará los estudios de peligrosidad sísmica, los códigos de construcción sismorresistente y las estrategias de mitigación del riesgo. Este estudio contribuirá directamente a un mejor conocimiento de la sismicidad del país y, por ende, a la seguridad de sus habitantes.

### Delimitación de la investigación

- ❖ Límites Geográficos: El estudio se centrará en el territorio de la República Dominicana.
- ❖ Límites Temporales: Se utilizarán datos sísmicos registrados por el Centro Nacional de Sismología de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (CNS-UASD) en un periodo a definir según la disponibilidad y calidad de los datos (ej. 2015-2025).
- ❖ Alcances\* El estudio se limitará a la calibración de la escala de magnitud local (ML) para sismos corticales. No se abordarán otras escalas de magnitud ni sismos profundos.
- ❖ Aporte: El principal aporte será una nueva fórmula de calibración de la escala ML para la República Dominicana.
- ❖ Utilidad: La nueva calibración será de utilidad para el CNS-UASD, así como para ingenieros, geólogos y planificadores urbanos.

### Planteamiento Del Problema

*Descripción del problema:* La falta de una escala de magnitud local (ML) calibrada específicamente para las condiciones tectónicas y geológicas de la República Dominicana genera incertidumbre en los catálogos sísmicos. El uso de modelos de atenuación no locales puede resultar en una subestimación o sobreestimación sistemática de la magnitud de los sismos, lo que afecta la fiabilidad de los estudios de peligrosidad sísmica.

*Formulación del problema:* ¿Cómo influye la falta de una calibración local de la escala de magnitud (ML) en la precisión de los catálogos sísmicos de la República Dominicana y cómo puede

desarrollarse un modelo de atenuación adaptado para mejorarla?

### *Sistematización o preguntas de investigación:*

1. ¿Cuál es el modelo de atenuación de ondas sísmicas que mejor se ajusta a las características de la República Dominicana?
2. ¿Cuál es la función de corrección por distancia adecuada para la calibración de la escala ML en el país?
3. ¿Cómo se comparan los valores de ML obtenidos con la nueva calibración con los valores de magnitud de momento ( $M_w$ )?

## Objetivos

### *Objetivo General:*

Desarrollar un nuevo modelo de atenuación de ondas sísmicas y calibrar la escala de magnitud local (ML) para la República Dominicana, con el fin de mejorar la precisión en la estimación de la magnitud de los sismos.

### *Objetivos Específicos:*

1. Recopilar y procesar un catálogo de formas de onda de sismos registrados en la República Dominicana por el CNS-UASD.
2. Determinar la función de corrección por distancia ( $-\log A_0$ ) para la República Dominicana mediante un proceso de inversión lineal.
3. Calcular el parámetro de anclaje (parámetro c) para la nueva escala, utilizando sismos con magnitud de momento ( $M_w$ ) conocida.
4. Validar la nueva calibración de la escala ML comparando los resultados con magnitudes de momento ( $M_w$ ) y con los valores de ML previamente calculados.

## Variables

- Independientes (causa):
  - Amplitud máxima de la onda sísmica (A).
  - Distancia hipocentral (r).
- Dependientes (efecto):
  - Magnitud Local (ML).

## Cuadro de operacionalización de variables e indicadores

Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de Medición
<p>Variables Independientes (causas)</p> <p><b>1: Amplitud máxima de la onda sísmica (A)</b></p> <p><b>2: Distancia Hipocentral (r)</b></p>	<p><b>1. Medición de la Amplitud Sísmica</b></p> <p><b>2. Determinación de la Distancia Hipocentral</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Amplitud máxima de onda de superficie (A):</b> Valor numérico en milímetros (mm).</li> <li><b>Tiempo de llegada de las ondas P y S (t<sub>p</sub>, t<sub>s</sub>):</b> Intervalo en segundos (s).</li> </ul> <p><b>Coordenadas epicentrales (latitud, longitud) y profundidad (z):</b> Valores geográficos en grados y kilómetros.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Sismógrafos de banda ancha:</b> Estaciones de la red sísmológica.</li> <li><b>Sismogramas digitales:</b> Archivos de datos sísmicos (p. ej., formato SAC).</li> <li><b>Software de análisis de datos sísmicos:</b> Programas como SeisComP3, easyQuake, ObsPy, o Seisan para la lectura y medición de la amplitud.</li> <li><b>Datos de llegada de las ondas sísmicas:</b> Tiempos de arribo registrados en los sismogramas.</li> </ul> <p><b>Algoritmos de localización sísmica:</b> Métodos computacionales para determinar el epicentro y la profundidad del sismo.</p> <p><b>Fórmula de distancia:</b> Ecuación matemática que calcula <b>r</b> a partir de las coordenadas del sismógrafo y del hipocentro (<math>r^2 = \Delta^2 + z^2</math>).</p>

Variables Dependientes (efecto)  <b>1: Magnitud Local (ML)</b>	<b>1. Cálculo de la Magnitud Local</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li> <b>Valor numérico de la Magnitud Local (ML):</b>  Resultado de aplicar la fórmula de Richter. </li> <li> <b>Logaritmo de la atenuación de la onda (logA_0):</b>  Parámetro de ajuste regional que compensa la pérdida de energía de la onda con la distancia. </li> <li> <b>Residuales de magnitud (diferencia ML_calculada – ML_referencia):</b>  Diferencia entre el valor obtenido y el valor estándar. </li> <li> <b>Estabilidad de los parámetros de la fórmula:</b>  Evaluación de la consistencia de la atenuación y otras variables en diferentes eventos. </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> <b>Fórmula de la Magnitud Local (Richter):</b>  <math>ML = \log_{10}(A) + \log_{10}(A_0) - r</math>. </li> <li> <b>Conjunto de datos de referencia:</b> Catálogo de sismos del Centro Nacional de sismología o/y regional para la validación. </li> <li> <b>Métodos estadísticos de análisis de datos:</b> Regresión lineal y análisis de varianza (ANOVA). </li> <li> <b>Gráficos de dispersión y tendencias:</b> Herramientas de visualización para identificar patrones en los residuales. </li> </ul>
--	--	--	---

## Hipótesis

La implementación de una función de corrección por distancia y una calibración de la escala de magnitud local (ML) específicas para la República Dominicana reducirá la incertidumbre en los catálogos sísmicos y producirá valores de magnitud más consistentes con la magnitud de momento (Mw), en comparación con los valores obtenidos mediante modelos no calibrados.

## Capítulo II: Marcos de referencia

### Marco histórico



Breve reseña de la historia de la sismología en la República Dominicana, desde los primeros registros históricos de terremotos hasta la creación y desarrollo del Centro Nacional de Sismología (CNS-UASD).

### Marco Contextual

Descripción del entorno tectónico de la isla La Española, las principales fallas activas (ej. Falla de Enriquillo-Plantain Garden, Falla Septentrional), y la sismicidad regional.

### Marco Teórico

Explicación detallada de los conceptos fundamentales:

- ❖ Teoría de la tectónica de placas.
- ❖ Generación y propagación de ondas sísmicas (ondas P, S, Lg).
- ❖ Concepto de magnitud sísmica: Escala de Richter (ML), Magnitud de Momento (Mw).
- ❖ Atenuación de ondas sísmicas: geométrica e intrínseca.
- ❖ Fundamentos matemáticos de la inversión lineal para la obtención de parámetros.

### Marco Legal

Mención de normativas y reglamentos nacionales relacionados con la construcción sismorresistente y la evaluación de la amenaza sísmica en la República Dominicana.

### Marco conceptual o definición de términos

Glosario de los términos técnicos más importantes utilizados en el estudio.

---

## Capítulo III: Metodología o diseño metodológico

### Fuentes de información

- ❖ Primaria: Datos de formas de onda y catálogos sísmicos del Centro Nacional de Sismología de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (CNS-UASD).
- ❖ Secundaria: Publicaciones científicas, libros y manuales sobre sismología y calibración de magnitud.

### Tipo de investigación

Investigación cuantitativa, aplicada y descriptiva.

### Enfoque de la investigación

Enfoque deductivo, partiendo de la teoría general de la magnitud local para llegar a una solución específica para la República Dominicana.

### Método utilizado en la investigación

Se seguirá un método análogo al del estudio de Muñoz Lopez et al. (2020):

1. Recopilación de datos: Selección de eventos sísmicos con buena calidad de registro y

- distribución azimutal.
2. Procesamiento de datos: Medición de amplitudes máximas en los sismogramas y cálculo de distancias hipocentrales.
  3. Inversión: Aplicación de una inversión lineal para resolver la ecuación  $ML = \log(A) + a \cdot \log(r) + b \cdot r - c$  y encontrar los coeficientes  $a$ ,  $b$  y  $c$ .
  4. Validación: Comparación de los resultados con datos independientes.

## Población y Muestra

- ❖ Población: Todos los sismos registrados por la red del CNS-UASD en el periodo de estudio.
- ❖ Muestra: Un subconjunto de sismos seleccionados bajo criterios de calidad: número mínimo de estaciones, error en la localización, etc.

## Técnicas de investigación

- ❖ Análisis de datos sísmicos.
- ❖ Modelado numérico.
- ❖ Análisis estadístico.

## Instrumentos de investigación

- ❖ Software de análisis sísmico (ej. SEISAN, easyQuake, ObsPy).
- ❖ Software de cálculo numérico y graficación (ej. MATLAB, Python).

---

## Referencias bibliográficas

- ❖ Muñoz Lopez, C., Velasquez, L., & Dionicio, V. (2020). *Calibration of Local Magnitude Scale for Colombia*. Bulletin of the Seismological Society of America, 110 (4), 1971-1981.
- ❖ Hutton, L. K., & Boore, D. M. (1987). *The ML scale in southern California*. Bulletin of the Seismological Society of America, 77 (6), 2074-2094.
- ❖ Richter, C. F. (1935). *An instrumental earthquake magnitude scale*. Bulletin of the Seismological Society of America, 25 (1), 1-32.

## Anexos

Mapas, figuras adicionales, scripts de código, etc.

## Índice Tentativo

(Se replicaría el índice presentado al inicio)

---

## Cronograma

Actividad	Semanas	Meses
Marco teórico y metodológico		3
Recopilación de la información		2
Análisis de la información		2
Redacción del informe final		2
Edición, encuadernación y entrega del informe final	2	

## Presupuesto

Actividad	Costos (RD\$)
Marco teórico y metodológico	0.0
Recopilación de la información	10,000
Análisis de la información	0.0
Redacción del informe final	0.0
Edición, encuadernación y entrega del informe final	5,000