

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD AZCAPOTZALCO
DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS

INFERENCIA ESTADÍSTICA BASADA EN EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE LOS SISMOS EN VARIAS REGIONES DE LA COSTA DEL PACÍFICO DE MÉXICO

IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS
QUE PRESENTA EL:
ING. JOSÉ MANUEL VILLA VARGAS

PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

DIRECTOR DE TESIS:
DR. JOSÉ ANTONIO CLIMENT HERNÁNDEZ

Resumen

El presente trabajo desarrolla un análisis probabilista para la inferencia de eventos sísmicos significativos en la costa del Pacífico mexicano, región con una alta actividad sísmica. Utilizando datos históricos del Servicio Sismológico Nacional de México desde 1900 hasta julio de 2025, se implementó una metodología sistemática que comprende estadística descriptiva, intervalos de confianza, pruebas de hipótesis y pruebas de bondad de ajuste para seis regiones: Chiapas, Guerrero, Michoacán, Oaxaca, Resto Nacional y Sismos Nacionales. Los resultados revelan que las distribuciones Gumbel, Weibull, GEV, Logística y Normal ajustan adecuadamente los datos de Magnitudes Máximas anuales según la región analizada, mientras que ninguna distribución ajustó satisfactoriamente para los Sismos Totales. Se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre las regiones en términos de media, varianza y proporción de sismos superiores a 6.5° . Este trabajo busca proporcionar una base robusta para la estimación probabilista de eventos sísmicos futuros en México y contribuir al desarrollo de políticas de prevención y concientización del peligro sísmico existente en México.

Palabras clave: Inferencia Sísmica, análisis probabilista, estadísticos descriptivos, pruebas de bondad de ajuste, pruebas de hipótesis, sismos en la costa del Pacífico Mexicano.

Abstract

This study develops a probabilistic analysis for the inference of significant seismic events on the Mexican Pacific coast, a region with high seismic activity. Using historical data from the Mexican National Seismological Service from 1900 to July 2025, a systematic methodology was implemented. This methodology includes descriptive statistics, confidence intervals, hypothesis testing, and goodness-of-fit tests for six regions: Chiapas, Guerrero, Michoacán, Oaxaca, the rest of the country, and national seismic events. The results reveal that the Gumbel, Weibull, GEV, Logistic, and Normal distributions adequately fit the annual Maximum Magnitudes data, depending on the region analyzed. In contrast, no distribution satisfactorily fit the data for Total Earthquakes. Statistically significant differences were identified among the regions in terms of mean, variance, and the proportion of earthquakes with a magnitude greater than 6.5. This work aims to provide a robust basis for the probabilistic estimation of future seismic events in Mexico and to contribute to the development of prevention policies and awareness of the existing seismic hazard in the country.

Keywords: Seismic Inference, probabilistic analysis, descriptive statistics, goodness-of-fit test, hypothesis testing, earthquakes on the Mexican Pacific coast.

Dedicatoria

// Esta sección se presenta en la versión final de su ICR. Son frases cuyo objetivo es otorgar una mención especial a las personas que te han motivado durante tu ICR.

Agradecimientos

// Esta sección se presenta en la versión final de su ICR. Son frases cuyo objetivo es plasmar el apoyo moral, físico, económico y/o emocional que recibió de las personas o instituciones durante la elaboración de todo su proyecto.

Índice general

Resumen	III
Abstract	V
Dedicatoria	VII
Agradecimientos	IX
Índice general	XII
Índice de tablas	XIII
Índice de figuras	XV
Simbología y Acrónimos	XVII
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Principales contribuciones	3
1.5. Organización del documento	4
2. Marco teórico	5
2.1. Síntesis de los artículos	6
3. Estado del arte	9
4. Metodología	11
5. Análisis de Resultados	13

6. Conclusiones	15
A. Anexo 1	17
Bibliografía	20

Índice de tablas

1. Artículos seleccionados.	5
-------------------------------------	---

Índice de figuras

Simbología y Acrónimos

Simbología Estadística

\bar{x}	Media aritmética o promedio
\tilde{x}	Mediana
\hat{x}	Moda
s_x^2	Varianza muestral
s_x	Desviación estándar muestral
g_1	Coeficiente de asimetría
g_2	Coeficiente de curtosis
n	Tamaño de la muestra
N	Tamaño de la población
α	Nivel de significancia
$1 - \alpha$	Nivel de confianza
H_0	Hipótesis nula
H_1	Hipótesis alternativa
μ	Media poblacional
σ^2	Varianza poblacional
σ	Desviación estándar poblacional
π	Proporción poblacional
p	Proporción muestral

<i>IC</i>	Intervalo de confianza
ε	Error máximo tolerado
<i>F</i>	Estadístico F de Fisher
<i>t</i>	Estadístico t de Student
<i>z</i>	Estadístico z
χ^2	Estadístico chi-cuadrada
<i>D</i>	Estadístico de Kolmogorov-Smirnov
A_n	Estadístico de Anderson-Darling

Acrónimos

AD	Anderson-Darling (prueba de bondad de ajuste)
AHP	Proceso de Jerarquía Analítica (Analytic Hierarchy Process)
AIC	Criterio de Información de Akaike
BIC	Criterio de Información Bayesiano
BPT	Brownian Passage Time
CNNC	Red Neuronal Convolucional (Convolutional Neural Network)
ETAS	Epidemic Type Aftershock Sequence
GEV	Distribución Generalizada de Valores Extremos
GMPE	Ecuación de Predicción del Movimiento del Suelo
IA	Inteligencia Artificial
IC	Intervalo de Confianza
ICR	Idónea Comunicación de Resultados
KS	Kolmogorov-Smirnov (prueba de bondad de ajuste)
LF	Lilliefors (prueba de bondad de ajuste)
PBA	Pruebas de Bondad de Ajuste
PH	Pruebas de Hipótesis
PSHA	Análisis Probabilista de Peligrosidad Sísmica

SSN	Servicio Sismológico Nacional
SSNMX	Servicio Sismológico Nacional de México
UAM	Universidad Autónoma Metropolitana
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México

Introducción

A través de la historia, la humanidad ha sufrido de catástrofes naturales que impactan directamente la vida del ser humano. Las catástrofes naturales son de varios tipos como inundaciones, huracanes, deslaves de tierra, erupciones volcánicas, sequías, incendios, sismos o terremotos y tsunamis, entre varios otros.

La inferencia de la ocurrencia de alguno de estos eventos catastróficos es de utilidad para la humanidad. Y dadas las consecuencias que estos eventos tienen sobre la forma de vida de la gente y como alteran su realidad de un momento a otro, es importante el estudio y la comprensión del comportamiento de los eventos a lo largo de un periodo de tiempo, buscando la forma de inferir y prepararse para cuando estos ocurran.

Dentro de los tipos de catástrofes mencionadas en el párrafo anterior, los sismos o terremotos son uno de los que mayor impacto tienen para la vida humana y para la infraestructura urbana, rural y natural, porque estos además del daño que causan por el evento en sí, tienen la particularidad de que provocan otros eventos de catástrofes naturales como incendios, deslaves, tsunamis o marejadas y daños colaterales en las infraestructuras urbanas como son derrumbes y daños estructurales en edificaciones, cortes al suministro eléctrico, fallas en los sistemas de telecomunicaciones, daños en la red de carreteras, trenes, aeronaves, suministro de agua, alimentos, medicinas y finalmente, presentando un fuerte declive en la economía de los lugares afectados.

Una de las zonas sísmicas más activas en el mundo es la costa del Pacífico de México (que se encuentra en el cinturón de fuego del pacífico) en la cual se presentan frecuentemente sismos de magnitud significativa que impactan a las zonas de ocurrencia y centros urbanos en un radio de 0 a 500 kilómetros de distancia del epicentro de los sismos.

Actualmente son desarrollados y producidos diferentes métodos para inferir la probabilidad de ocurrencia de un sismo en una zona específica. Estas técnicas varían en metodología como en las formas de estudiar e inferir la ocurrencia de un sismo de magnitud significativa para la vida humana.

El presente trabajo utiliza como referencia los datos otorgados por el Servicio Sismológico Nacional de México (SSNMX) con el propósito de realizar un análisis probabilista para la ocurrencia de un sismo de magnitud significativo (mayor a 5° Richter) en los estados de mayor actividad sísmica en la costa del pacífico de la República Mexicana, con fundamento en la muestra de datos del SSNMX que data del 1 de enero del año 1900 hasta julio de 2025. La

metodología aplicada comprende estadística descriptiva, intervalos de confianza, estimación de tamaño mínimo de muestra, pruebas de hipótesis, así como pruebas de bondad de ajuste para diferentes distribuciones, que justifiquen los resultados.

1.1. Planteamiento del problema

La predicción de ocurrencia de un sismo de magnitud considerable es hasta la fecha imprecisa y difícil de determinar mediante algún cálculo o estudio que es realizado previamente. Como se ha mencionado anteriormente, en la actualidad se están utilizando diferentes técnicas basadas en distintos planteamientos, que apuntan hacia el mismo objetivo: estimar con un nivel de significación mínimo la próxima ocurrencia de un sismo en una zona de estudio delimitada.

Además de la dificultad encontrada para predecir un sismo significativo, están las siguientes problemáticas que conlleva el obtener un resultado más certero, como lo son: falta de datos históricos por tecnologías anticuadas o por no tener una escala estándar antes de 1935 (Richter 1935), también porque hay sismos de magnitud baja que no son medidos (menores a 3°, o que se confunden con réplicas), por confusión con otros eventos naturales (como los tremores volcánicos, las explosiones o los impactos terrestres), porque la medición no refleja la magnitud real del sismo (por mediciones no exactas, o por falla en la calibración de los equipos) y por sus patrones no periódicos de ocurrencia (que un sismo no muestra patrones de repetición de evento exacta ni periódica, son aleatorios).

1.2. Justificación

La inferencia de sismos es de vital importancia para desarrollar políticas de prevención de desastres derivados de la actividad sísmica de magnitud considerable. Aunque actualmente sigue siendo muy complejo el poder estimar la fecha de ocurrencia de un sismo fuerte en una región determinada, se trabaja continuamente en múltiples aproximaciones para poder realizar con un alto grado de certeza la estimación de ocurrencia de un sismo significativo futuro.

La mayoría de las técnicas que se emplean actualmente tienen que ver con uso y aplicación de inteligencia artificial y redes neuronales alimentadas por datos históricos y ecuaciones de movimiento sísmico.

Es aquí donde se considera importante la existencia de un proyecto como el presente el cual propone un enfoque basado en análisis probabilista. La metodología implementada sigue pasos sistemáticos y repetibles que permiten entender mejor el fenómeno sísmico en los estados estudiados. Esta metodología integra la obtención de estadísticos descriptivos para cada estado, la determinación de intervalos de confianza para la media, desviación y proporción de sismos mayores a un umbral crítico, la estimación del tamaño mínimo de la muestra, la realización de pruebas de hipótesis para media, varianza y proporción de sismos y de pruebas de bondad de ajuste para varias distribuciones. Todo esto con el fin de poder inferir con un nivel de certeza próximos eventos sísmicos en los estados analizados.

También, este proyecto es relevante pues se enfoca en los estados de mayor actividad y riesgo sísmico de México, diferenciando este trabajo de otros que se enfocan en otras regiones del planeta o no son minuciosos en sus estudios de la actividad sísmica en México.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Se pretende obtener resultados fiables mediante la aplicación de cálculos de inferencia probabilista para la ocurrencia de un sismo de magnitud significativa con un nivel de confianza en la costa del Pacífico mexicano.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Identificar una correlación significativa en los datos históricos de los sismos en la costa del Pacífico mexicano mediante el análisis de los datos disponibles de los mismos.
2. Aplicar el cálculo de probabilidad, los estadísticos descriptivos, pruebas de hipótesis, pruebas de bondad de ajuste a los datos históricos de los sismos para obtener una estimación del intervalo de confianza del siguiente evento sísmico.
3. Programar en la herramienta R y RStudio los algoritmos de estimación de estadísticos descriptivos, de intervalos de confianza, de tamaño mínimo de la muestra, de pruebas de hipótesis y de pruebas de bondad de ajuste, así como generar gráficos y tablas representativos de estos.

1.4. Principales contribuciones

Las principales contribuciones de este trabajo de investigación se listan a continuación:

1. **Análisis estadístico por región:** Se realiza un análisis completo y exhaustivo de la actividad sísmica en seis regiones de México, diferenciándose de otros estudios y logrando identificar que cada estado de la costa del Pacífico presenta un comportamiento sísmico único con distribuciones probabilísticas específicas (Gumbel para Oaxaca, Weibull para Guerrero y Chiapas, distribución generalizada de valores extremos para Michoacán).
2. **Metodología replicable:** Se desarrolla e implementa una metodología sistemática y reproducible que integra múltiples técnicas estadísticas (estadísticos descriptivos, intervalos de confianza, pruebas de hipótesis y pruebas de bondad de ajuste para 20 distribuciones), estableciendo una metodología robusta enfocada al análisis sísmico y que puede aplicarse a otras regiones sísmicamente activas.
3. **Identificación de patrones temporales significativos:** Se determina la existencia de patrones mensuales de actividad sísmica diferenciados por región, identificando septiembre como el mes de mayor actividad sísmica nacional, hallazgo relevante en el ámbito del fenómeno sísmico en México.
4. **Validación de umbrales críticos:** Se establece mediante pruebas estadísticas rigurosas que la proporción de sismos mayores a 6.5° varía significativamente entre regiones, lo cual proporciona una base sólida para la diferenciación del riesgo sísmico regional identificando las regiones con mayor propensión a sufrir de sismos fuertes.

5. Código computacional en R: Se desarrolla e implementa un conjunto completo de algoritmos en R y RStudio para el procesamiento automatizado de datos sísmicos, disponible para su uso y adaptación, facilitando la replicación, escalabilidad y adaptabilidad del mismo a cualquier tipo de análisis sísmico con fundamentos estadísticos.

1.5. Organización del documento

El presente documento se estructura en seis capítulos que desarrollan de manera sistemática y progresiva la investigación realizada sobre la inferencia probabilística de eventos sísmicos en la costa del Pacífico mexicano.

El **Capítulo 1** presenta la introducción general al problema de investigación, estableciendo el contexto de la actividad sísmica en México y su impacto en la población e infraestructura. Se define el planteamiento del problema, la justificación del estudio, los objetivos generales y específicos, las principales contribuciones y la presente organización del documento.

El **Capítulo 2** desarrolla el marco teórico fundamental, presentando una revisión exhaustiva de 16 artículos científicos seleccionados que abordan metodologías de predicción sísmica, técnicas estadísticas y de inteligencia artificial aplicadas a la sismología. Se realiza una síntesis crítica de los enfoques existentes, desde modelos probabilísticos clásicos hasta técnicas de aprendizaje profundo, estableciendo el fundamento teórico para la metodología propuesta.

El **Capítulo 3** expone el estado del arte en predicción sísmica, analizando detalladamente los trabajos más relevantes en el campo. Se examinan las técnicas implementadas globalmente, desde modelos log-lineales y distribuciones gamma hasta redes neuronales convolucionales, identificando las fortalezas y limitaciones de cada enfoque. Se destaca la aplicación de estas metodologías en diferentes regiones sísmicas del mundo y su relevancia para el contexto mexicano.

El **Capítulo 4** describe la metodología de investigación implementada, detallando las 10 fases del proceso analítico: desde la recopilación y filtrado de datos del Servicio Sismológico Nacional, hasta la aplicación de pruebas de bondad de ajuste y cálculos de probabilidad. Se presentan las formulaciones matemáticas de los estadísticos descriptivos, intervalos de confianza, pruebas de hipótesis y criterios de selección de modelos utilizados.

El **Capítulo 5** presenta el análisis exhaustivo de los resultados obtenidos. Se muestran los estadísticos descriptivos calculados para las seis regiones estudiadas, las representaciones gráficas del comportamiento sísmico histórico, los intervalos de confianza estimados, los resultados de las pruebas de hipótesis realizadas y la identificación de las distribuciones probabilísticas que mejor ajustan los datos de cada región. Se incluyen 26 tablas y 17 figuras que sintetizan los hallazgos principales.

El **Capítulo 6** expone las conclusiones del trabajo, sintetizando los logros alcanzados respecto a los objetivos planteados, las limitaciones identificadas durante la investigación y las líneas de trabajo futuro propuestas para extender y mejorar la metodología desarrollada.

Finalmente, se incluye un apéndice con información complementaria de los artículos revisados, la síntesis del código utilizado y la bibliografía completa con las referencias utilizadas en el desarrollo de la investigación.

Capítulo 2

Marco teórico

Se procede a la revisión de artículos y publicaciones que tienen que ver directamente con el tema de la problemática a solucionar.

A continuación, se presenta la Tabla 1 que muestra una selección de los artículos relacionados a la metodología que se utiliza a lo largo de este trabajo.

Tabla 1: Artículos seleccionados.

Año	Título y Autor
2023	“Earthquakes magnitude prediction using deep learning for the Horn of Africa” (Abebe, Kebede, Kevin y Demissie 2023)
2020	“Application of Artificial Intelligence in Predicting Earthquakes: State-of-the-Art and Future Challenges” (Al Banna, Taher, Kaiser, Mahmud, Rahman, Hosen y Cho 2020)
2007	“Análisis geográfico y estadístico de la sismicidad en la costa mexicana del Pacífico” (Barrientos, Fernandez y Rivero 2007)
2021	“Time-Dependent Seismic Hazard Analysis for Induced Seismicity: The Case of St Gallen (Switzerland), Geothermal Field” (Convertito, Ebrahimian, Amoroso, Jalayer, De Matteis y Capuano 2021)
2005	“A probabilistic prediction of the next strong earthquake in the Acapulco-San Marcos segment, Mexico” (Ferrás 2005)
2022	“Long-Term Forecasting of Strong Earthquakes in North America, South America, Japan, Southern China and Northern India With Machine Learning” (Velasco Herrera, Rossello, Orgeira, Arioni, Soon, Velasco y Vera 2022)
2021	“Earthquake risk assessment in NE India using deep learning and geospatial analysis” (Jena, Pradhan, Naik y Alamri 2021)
2023	“Fundamental study on probabilistic generative modeling of earthquake ground motion time histories using generative adversarial networks” (Matsumoto, Yaoyama, Lee, Hida y Itoi 2023)
2020	“Ground motion prediction equation for crustal earthquakes in Taiwan” (Phung, Loh, Chao, Chiou y Huang 2020)
1935	“An instrumental earthquake magnitude scale” (Richter 1935)
2021	“Theoretical methodological aspects about earthquake prediction” (Galbán-Rodríguez 2021)

2. Introducción

Año	Título y Autor
2023	“Probabilistic seismic hazard assessment for Western Mexico” (Sawires, Peláez y Santoyo 2023)
2025	“Hypothesis Testing, P Values, Confidence Intervals, and Significance” (Shreffler y Huecker 2025)
2024	“Comparative analysis of continuous probability distributions for modeling maximum flood levels” (Shobanke, Olayemi y Olajide 2024)
2021	“Ground motion prediction equation for earthquakes along the Western Himalayan arc” (Singh, Arroyo, Srinivas y Suresh 2021)
2019	“Descriptive analysis and earthquake prediction using boxplot interpretation of soil radon time series data” (Tareen, Nadeem, Kefratt, Abbas, Khawaja y Rafique 2019)

2.1. Síntesis de los artículos

Ahora se realiza una descripción del contenido de los artículos seleccionados.

En el artículo de Abebe, Kebede, Kevin y Demissie (2023) se expone que los terremotos son vibraciones de la superficie de la Tierra que pueden causar temblores, incendios, deslizamientos de tierra y fisuras. Por lo cual, en esta investigación se aplicó una técnica basada en el aprendizaje profundo, un algoritmo transformador que tiene como fin predecir las magnitudes de los terremotos, utilizando los datos disponibles para el Cuerno de África.

En el artículo de Al Banna, Taher, Kaiser, Mahmud, Rahman, Hosen y Cho (2020) se menciona que las técnicas basadas en la inteligencia artificial producen un resultado prometedor en la predicción de terremotos, gracias a su capacidad de encontrar patrones ocultos en los datos. Por lo tanto, en este trabajo se exploran las fechas de predicción para terremotos que fueron arrojadas mediante la utilización de técnicas basadas en la inteligencia artificial.

Para el artículo de Barrientos, Fernandez y Rivero (2007) se efectúa el análisis estadístico y geográfico para eventos de tipo sísmico que se han registrado en la costa del Pacífico mexicano en el siglo XX, describiendo las ocurrencias de estos como un proceso de puntos y proponiendo el uso de modelos lineales de tipo log-lineal para ajustar sus tasas de ocurrencia.

Convertito, Ebrahimian, Amoroso, Jalayer, De Matteis y Capuano (2021) presenta una técnica para modificar el análisis probabilístico estándar de la peligrosidad sísmica aplicado a la sismicidad inducida, el cual se apoya en el análisis probabilista de peligrosidad sísmica, particularmente las profundidades relativamente bajas, la pequeña magnitud, la correlación con las operaciones de campo y el tiempo de recurrencia no Poisson. Esta técnica permite utilizar modelos no Poisson (Brownian Passage Time, Weibull, gamma y Epidemic Type Aftershock Sequence) en los cuales, sus parámetros son ajustados al registro de sismicidad que se implementa en las etapas de las operaciones de campo.

En el artículo Ferrás (2005) se supone una distribución gamma y una distribución lognormal para los intervalos de tiempo de recurrencia de grandes terremotos. Se implementa el uso de las probabilidades condicionales de recurrencia para representar de forma válida y razonable la posible ocurrencia de grandes sismos.

Para el artículo Velasco Herrera, Rossello, Orgeira, Arioni, Soon, Velasco y Vera (2022) se menciona que la capacidad para pronosticar terremotos fuertes a largo plazo es esencial para de esta forma minimizar los riesgos y las vulnerabilidades de las personas que viven en áreas consideradas altamente sísmicas. Fueron analizados diferentes patrones sísmicos en el territorio de Japón para de esta forma crear un modelo probabilista de inferencia sísmica a largo plazo para cada zona sísmica, utilizando el método de aprendizaje automático bayesiano.

Jena, Pradhan, Naik y Alamri (2021) expone un modelo de mapeo de riesgo sísmico basado en el aprendizaje profundo. Desarrollando un modelo de red neuronal convolucional con el propósito de evaluar la probabilidad de terremotos. Asimismo, se lleva a cabo la vulnerabilidad utilizando el proceso de jerarquía analítica, la teoría de intersección de Venn para el peligro y finalmente el modelo integrado para el mapeo de riesgos.

En el estudio del artículo de Matsumoto, Yaoyama, Lee, Hida y Itoi (2023) se propone un modelo probabilista para la inferencia de sismos y terremotos, el cual es denominado como modelo de generación de movimiento de suelo, con el propósito de crear datos de la historia del tiempo de movimiento del suelo directamente. Asimismo, se plantea un método para evaluar de forma cuantitativa y cualitativa el rendimiento del modelo construido y se optimiza el modelo de generación de movimiento del suelo para lograr un alto rendimiento desde las perspectivas de la ingeniería sísmica y el aprendizaje profundo.

Para el artículo de Phung, Loh, Chao, Chiou y Huang (2020) se desarrolló una ecuación de predicción del movimiento del suelo con el fin de estimar las amplitudes horizontales del movimiento del suelo causadas por terremotos de la corteza. Este fue basado en un conjunto de datos que incluye los terremotos ocurridos en Taiwán.

En el artículo de Richter (1935) se introduce la escala de magnitud Richter para los terremotos, la cual se propone como herramienta para medir la magnitud de un sismo. Esta escala utiliza amplitudes de ondas sísmicas registradas por los sismógrafos durante un terremoto y proporciona una medida cuantitativa de la energía liberada por el mismo. Asimismo se habla acerca de cómo calibrar la escala y de su trabajo para desarrollarla analizando eventos sísmicos en el sur de California.

Para el artículo de Galbán-Rodríguez (2021) se realiza un recorrido por el tema de los terremotos, partiendo de su marco conceptual, se revisan algunas de las principales teorías de su predicción sísmica, con el fin de que científicos puedan aplicar los preceptos metodológicos expuestos a su trabajo diario.

Para el artículo de Sawires, Peláez y Santoyo (2023), se lleva a cabo un análisis probabilístico actualizado del peligro sísmico para el occidente de México. Este estudio utiliza un catálogo de terremotos unificado y actualizado, así como modelos de fuentes sísmicas, para evaluar el peligro sísmico en términos de aceleración máxima del terreno y aceleración espectral, considerando la incertidumbre en la estimación de parámetros sismológicos clave.

En el artículo de Shreffler y Huecker (2025), se presentan los conceptos fundamentales de las pruebas de hipótesis, los valores p, los intervalos de confianza y la significación estadística. El trabajo se enfoca en cómo estos elementos son cruciales en la investigación clínica para guiar la toma de decisiones basada en la evidencia, y explica su interrelación, incluyendo la relevancia del tamaño de la muestra para la interpretación de los resultados.

Para el artículo de Shobanke, Olayemi y Olajide (2024), se realiza un análisis comparativo del rendimiento de varias distribuciones de probabilidad continuas, incluyendo la Normal, Cauchy, Chi-Cuadrada, Normal Estándar y t de Student. El objetivo es modelar los niveles máximos de inundación, utilizando criterios de selección de modelos como el Criterio de Información de Akaike para identificar la distribución que mejor se ajusta a los datos.

Según Singh, Arroyo, Srinivas y Suresh (2021), un elemento crítico para la estimación del peligro sísmico es la ecuación de predicción del movimiento del suelo, el cual logra relacionar la intensidad sísmica esperada en un punto de un terremoto de una magnitud y una ubicación determinada. En este estudio se utilizaron un conjunto de datos de terremotos, así como de réplicas para derivar la ecuación de predicción del movimiento del suelo para terremotos a lo largo del arco del Himalaya y proporcionar una estimación fiable de los parámetros del movimiento del suelo en ciertos sitios a lo largo del arco y de la península.

Tareen, Nadeem, Kefratt, Abbas, Khawaja y Rafique (2019) presenta un análisis estadístico descriptivo y una predicción de terremotos contingentes basada en datos de series temporales de radón en el suelo. Los datos fueron recopilados durante una línea de falla la cual pasa por debajo de Muzaffarabad, durante

2. Introducción

el periodo de un año. El análisis de series temporales de radón mediante diagramas de caja y parámetros meteorológicos muestran patrones específicos en las concentraciones de radón, esto debido a las actividades sísmicas subterráneas previas al terremoto.

Capítulo **3**

Estado del arte

// En este capítulo se menciona el trabajo relacionado de investigaciones que resuelven el mismo problema o un problema altamente relacionado con tu ICR. Debe dar crédito al trabajo previo y establecer la originalidad del trabajo actual.

3. Estado del arte

Capítulo **4**

Metodología

// Este capítulo puede titularse Método o Metodología. Este capítulo debe parecerse a una receta. El lector debe conocer lo que hiciste y cómo lo hiciste. Después de leer esta sección el lector debe poder responder de manera positiva a la pregunta: ¿Es posible reproducir esta investigación? Puede incluir las siguientes secciones: Participantes, hardware y software utilizado, procedimiento, diseño.

4. Metodología

Capítulo **5**

Análisis de Resultados

// Antes de presentar los resultados es común describir el enfoque estadístico y pruebas utilizadas en el análisis de datos. Una forma de organizar las subsecciones de los resultados es con las medidas utilizadas. De manera frecuente se puede evaluar la precisión o la velocidad. Los resultados se presentan por la precisión o por la tasa de error.

5. Análisis de Resultados

Conclusiones

El presente trabajo cumplió con el objetivo de obtener resultados fiables mediante la aplicación de cálculos de inferencia probabilista para la ocurrencia de sismos de magnitud significativa en la costa del Pacífico mexicano. A través de la implementación sistemática de la metodología propuesta, se lograron identificar patrones estadísticamente significativos en el comportamiento sísmico de las regiones analizadas.

Los resultados obtenidos permiten establecer que el análisis diferenciado por regiones es fundamental para la comprensión del fenómeno sísmico en México. Se demostró que Chiapas presenta la mayor cantidad de registros sísmicos (629 eventos $\geq 5^{\circ}$), mientras que Michoacán, con menor cantidad de eventos (90), registra la mayor dispersión en magnitudes, incluyendo el sismo histórico de 1985. Estas diferencias regionales confirman que no es apropiado aplicar un modelo único para toda la costa del Pacífico mexicano ni para todo el país.

Un hallazgo muy relevante fue que ninguna de las 20 distribuciones probadas se ajustó satisfactoriamente los datos de Sismos Totales, lo cual indica la complejidad del fenómeno sísmico cuando se utilizan todos los eventos registrados, indicando que tener más datos no es garantía de una mejor representación del comportamiento sísmico. Sin embargo, para las Magnitudes Máximas Anuales se identificaron distribuciones específicas que se si (p -valor > 0.05): Gumbel para Oaxaca, Weibull para Guerrero y Chiapas, GEV para Michoacán, Logística para Resto Nacional y Normal para Sismos Nacionales. Este resultado valida el enfoque de valores extremos para la inferencia sísmica.

Las pruebas de hipótesis revelaron diferencias estadísticamente significativas entre las regiones en términos de media, varianza y proporción de sismos mayores al umbral crítico de 6.5° . Particularmente relevante es que Guerrero presenta la mayor proporción de sismos fuertes (17.58 % para Sismos Totales), mientras que a nivel nacional esta proporción es del 8.84 %, información muy importante para fortalecer la cultura de la prevención.

El análisis temporal identificó a septiembre como el mes de mayor actividad sísmica tanto para Sismos Totales como para Magnitudes Máximas a nivel nacional, coincidiendo con eventos históricos significativos (sismos de 1985 y 2017).

La estimación del tamaño mínimo de muestra demostró que los datos históricos disponibles son suficientes para realizar inferencias confiables. Por ejemplo, Chiapas requiere 483 muestras para estimar la media con un error de ± 0.05 , y cuenta con 629 registros, validando la robustez estadística de los análisis realizados.

. Conclusiones

Apéndice **A**

Anexo 1

// Puede incluir en un anexo: formularios, entrevistas, encuestas, carta de aceptación a revista. Todos los anexos deben ser referenciados.

A. Anexo 1

Bibliografía

- Abebe, E., Kebede, H., Kevin, M. y Demissie, Z. (2023). Earthquakes magnitude prediction using deep learning for the horn of africa, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **170**: 107913.
- Al Banna, M. H., Taher, K. A., Kaiser, M. S., Mahmud, M., Rahman, M. S., Hosen, A. S. y Cho, G. H. (2020). Application of artificial intelligence in predicting earthquakes: state-of-the-art and future challenges, *IEEE Access* **8**: 192880–192923.
- Barrientos, L., Fernandez, J. y Rivero, F. (2007). Análisis geográfico y estadístico de la sismicidad en la costa mexicana del pacífico, *Boletín de los Sistemas Nacionales Estadístico y de Información Geográfica* **3**(1): p3.
- Convertito, V., Ebrahimanian, H., Amoroso, O., Jalayer, F., De Matteis, R. y Capuano, P. (2021). Time-dependent seismic hazard analysis for induced seismicity: the case of st gallen (switzerland), geothermal field, *Energies* **14**(10): 2747.
- Ferrás, S. G. (2005). A probabilistic prediction of the next strong earthquake in the acapulco-san marcos segment, mexico, *Geofísica Internacional* **44**(4): 347–353.
- Galbán-Rodríguez, L. (2021). Theoretical methodological aspects about earthquake prediction, *Boletín de Ciencias de la Tierra* **49**: 37–44.
- Jena, R., Pradhan, B., Naik, S. P. y Alamri, A. M. (2021). Earthquake risk assessment in ne india using deep learning and geospatial analysis, *Geoscience Frontiers* **12**(3): 101110.
- Matsumoto, Y., Yaoyama, T., Lee, S., Hida, T. y Itoi, T. (2023). Fundamental study on probabilistic generative modeling of earthquake ground motion time histories using generative adversarial networks, *Japan Architectural Review* **6**(1): e12392.
- Phung, V. B., Loh, C. H., Chao, S. H., Chiou, B. S. y Huang, B. S. (2020). Ground motion prediction equation for crustal earthquakes in taiwan, *Earthquake Spectra* **36**(4): 2129–2164.
- Richter, C. F. (1935). An instrumental earthquake magnitude scale, *Bulletin of the Seismological Society of America* **25**(1): 1–32.
- Sawires, R., Peláez, J. A. y Santoyo, M. A. (2023). Probabilistic seismic hazard assessment for western mexico, *Engineering Geology* **313**: 106959.
- Shobanke, D. A., Olayemi, M. S. y Olajide, O. O. (2024). Comparative analysis of continuous probability distributions for modeling maximum flood levels, *FUDMA Journal of Sciences* **8**(4): 130–135.

Shreffler, J. y Huecker, M. R. (2025). Hypothesis testing, p values, confidence intervals, and significance, *StatPearls*, StatPearls Publishing.

Singh, S. K., Arroyo, D., Srinivas, D. y Suresh, G. (2021). Ground motion prediction equation for earthquakes along the western himalayan arc, *Current Science* **120**(6).

Tareen, A. D. K., Nadeem, M. S. A., Kefratt, K. J., Abbas, K., Khawaja, M. A. y Rafique, M. (2019). Descriptive analysis and earthquake prediction using boxplot interpretation of soil radon time series data, *Applied Radiation and Isotopes* **154**: 108861.

Velasco Herrera, V. M., Rossello, E. A., Orgeira, M. J., Arioni, L., Soon, W., Velasco, G. y Vera, C. (2022). Long-term forecasting of strong earthquakes in north america, south america, japan, southern china and northern india with machine learning, *Frontiers in Earth Science* **10**: 905792.