

Artículo de investigación

Aplicación de FEMA P-154 para el análisis de vulnerabilidad sísmica en construcciones del sector El Matal-Jama.

Vania Estefanía Mora-Albán^[1]  Byron Simón Baque-Solís^[1] 

[1] Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM). Extensión Pedernales. Pedernales, Ecuador.



Autor para correspondencia: vania.mora@uleam.edu.ec

Resumen

El sector El Matal, en el cantón Jama de la provincia de Manabí, enfrenta una elevada exposición a amenazas sísmicas debido a su ubicación en una zona de intensa actividad tectónica. A pesar de la existencia de normativas y esfuerzos previos para mejorar la resistencia estructural, persisten edificaciones que no cumplen con los estándares mínimos de seguridad, lo cual incrementa la vulnerabilidad de sus habitantes. Por ello, la presente investigación se propuso evaluar la vulnerabilidad sísmica de las construcciones en El Matal mediante la aplicación del Formulario FEMA P-154, con el fin de sustentar la planificación urbana y la adopción de medidas de ingeniería sísmica más eficientes. La metodología incluyó una evaluación de riesgos a través de una inspección visual rápida de 93 viviendas, seleccionadas con base en la fórmula de Cochran. Se analizaron variables como la tipología estructural, la edad de la edificación y la presencia de daños no estructurales o factores geológicos. Los resultados mostraron que, si bien la mayoría de las edificaciones presenta vulnerabilidad sísmica baja o moderada, existe un porcentaje significativo de estructuras con irregularidades graves y altos niveles de riesgo. Como conclusión, se evidencia la necesidad de reforzar las construcciones más antiguas y de mampostería sin refuerzo, así como de revisar y fortalecer los códigos sismo-resistentes. Entre las recomendaciones destacan la capacitación comunitaria y la realización de estudios geotécnicos detallados para afianzar la resiliencia local.

Palabras Clave: *evaluación de riesgos, ingeniería sísmica, planificación urbana.*

Application of FEMA P-154 for the Seismic Vulnerability Analysis of Buildings in the El Matal Sector, Jama.

Abstract

The coastal area of El Matal, located in the Jama canton of Manabí Province, faces a high level of seismic risk due to its location in a tectonically active zone. Despite existing regulations and prior efforts to enhance structural resilience, many buildings still do not meet minimum safety standards, thereby increasing the vulnerability of local residents. Consequently, this research aimed to evaluate the seismic vulnerability of buildings in El Matal through the application of FEMA P-154, providing the basis for improved urban planning and seismic engineering measures. The methodology involved a risk assessment based on rapid visual inspections of 93 dwellings, selected using Cochran's formula. The variables examined included structural typology, building age, and the presence of non-structural damage or geotechnical concerns. The findings indicate that while the majority of the buildings exhibit low or moderate seismic vulnerability, there is a significant subset of structures with serious irregularities and an elevated risk of failure in the event of a major earthquake. In conclusion, the study underscores the urgency of reinforcing older constructions and unreinforced masonry buildings, as well as revising and strengthening seismic codes. Key recommendations include community training initiatives and detailed geotechnical studies to enhance local resilience and support more effective planning.

Keywords: *risk assessment, seismic engineering, urban planning.*

1. Introducción

La provincia de Manabí, y en particular el sector El Matal, en el cantón de Jama, es una región que se encuentra expuesta a elevados riesgos sísmicos debido a su ubicación en una zona de alta actividad tectónica, producto de la interacción de las placas de Nazca y Sudamericana. El terremoto de magnitud 7.8 ocurrido el 16 de abril de 2016 evidenció la vulnerabilidad de las edificaciones en esta zona, resultando en graves daños materiales y pérdidas humanas (INEC, 2017).

A pesar de los esfuerzos por mejorar la resistencia sísmica mediante normativas y regulaciones, aún persisten estructuras que no cumplen con los requisitos necesarios para resistir eventos sísmicos de gran magnitud. La aplicación del Formulario FEMA P-154, adaptado por el Consejo Técnico de Usos y Gestión de Suelo de la Secretaría de Riesgos de Ecuador, ha permitido realizar una detección visual rápida de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en El Matal. Sin embargo, es esencial profundizar en el análisis de estos datos para identificar las principales deficiencias estructurales y poder tomar medidas más efectivas para la mitigación de riesgos en la zona (Loor-Loor et al., 2021).

La vulnerabilidad sísmica en asentamientos costeros, como El Matal, es un tema crítico debido a las deficiencias estructurales de muchas edificaciones, sumadas a factores socioeconómicos que dificultan la capacidad de las comunidades para prepararse adecuadamente ante eventos sísmicos. Según Baque-Solís et al. (2024), en estos asentamientos costeros, las condiciones de pobreza y la falta de recursos limitan la capacidad de los habitantes para fortalecer las infraestructuras existentes, lo que aumenta la exposición a desastres naturales. Además, estudios previos sobre vulnerabilidad sísmica en otras regiones costeras, como en el caso de Portoviejo, han demostrado que la construcción inadecuada, sumada a la falta de cumplimiento con normativas sismo-resistentes, agravan el riesgo de daños durante un evento sísmico (Milanés & Hidalgo, 2018).

La investigación propuesta tiene como objetivo general evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en el sector El Matal - Jama, utilizando el Formulario FEMA P-154 como herramienta principal. Este formulario proporciona una metodología estandarizada para evaluar rápidamente el nivel de riesgo sísmico de las edificaciones y es fundamental para identificar aquellas estructuras que requieren atención urgente para mejorar su capacidad de resistencia ante futuros eventos sísmicos. La justificación de este estudio radica en la importancia de identificar las debilidades estructurales de las edificaciones en El Matal y en la necesidad de establecer políticas públicas orientadas a la reducción del riesgo sísmico y la protección de las comunidades locales, basadas en datos científicos precisos.

Los resultados de esta investigación contribuirán al conocimiento científico sobre la vulnerabilidad sísmica en zonas rurales de Ecuador, proporcionando información relevante para la planificación y la mejora de la resiliencia estructural en estos territorios. Según Amigo et al. (2021) es crucial entender cómo factores sociales, económicos y ambientales interactúan para amplificar los efectos de los desastres sísmicos, especialmente en asentamientos costeros, donde las características estructurales y la falta de preparación son determinantes del nivel de riesgo. De esta forma, el estudio servirá como base para la formulación de estrategias orientadas a fortalecer la infraestructura y las capacidades de las comunidades en zonas vulnerables.

La línea de investigación de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) en áreas como la ingeniería, la construcción, el urbanismo y la arquitectura, apunta a un desarrollo sustentable y sostenible. En este contexto, el proyecto de investigación "Estrategias para la implementación de arquitectura y urbanismo sostenible en la costa norte de Manabí" no solo pretende generar conocimientos en el campo de la ingeniería y la arquitectura, sino también ofrecer un enfoque integrador que incluya a la comunidad en los procesos de toma de decisiones para lograr un desarrollo más resiliente y seguro frente a los desastres naturales.

La pregunta central de esta investigación es: *¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en el sector El Matal - Jama según la evaluación con el Formulario FEMA P-154?* Esta cuestión guiará la recolección de datos, el análisis de los resultados y la formulación de propuestas que puedan ser implementadas para reducir los riesgos en esta región costera.

2. Metodología

El presente estudio emplea un enfoque descriptivo y cualitativo para evaluar la vulnerabilidad sísmica en el sector El Matal - Jama, Ecuador. La metodología principal utilizada es el Formulario FEMA P-154, el cual permite realizar una inspección visual rápida de las edificaciones, clasificándolas en categorías de alta, media o baja vulnerabilidad. Este instrumento resulta fundamental para obtener una evaluación inicial, que puede complementarse con análisis más detallados, como estudios estructurales y catastrales, tal como sugieren Cunalata, F., & Caiza, P. (2022).

Los resultados obtenidos se utilizarán para identificar estructuras prioritarias en intervenciones de reforzamiento estructural y para proponer estrategias de mitigación de riesgos. De esta manera, se busca contribuir al conocimiento científico y a la planificación de políticas públicas destinadas a reducir la vulnerabilidad sísmica en asentamientos costeros.

La variable dependiente de este estudio es la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, definida como el nivel de riesgo sísmico de las estructuras en el sector El Matal, determinado por su capacidad para resistir sismos de gran magnitud. Esta se operacionaliza mediante:

- La clasificación de vulnerabilidad (alta, media, baja) obtenida del Formulario FEMA P-154.
- Los puntajes para el Nivel I y SL1.
- El grado de revisión realizado (preliminar o detallado).
- La identificación de otros riesgos, como fisuras, asientos de cimientos y daños estructurales visibles.
- La variable independiente corresponde a las características de la construcción, que incluyen:
 - El tipo de sistema estructural (concreto, madera, mampostería).
 - La edad de la edificación.
 - Las condiciones estructurales (daños visibles y otros signos de deterioro).

El cumplimiento normativo, es decir, la existencia o ausencia de normativas sísmicas locales aplicados durante el proceso de construcción. Estos elementos permiten evaluar cómo las características constructivas influyen en el nivel de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en esta zona costera.

Descripción de la Ubicación de El Matal

El Matal es una localidad costera ubicada en el cantón Jama, provincia de Manabí, Ecuador. Se encuentra en la región litoral del país, a orillas del océano Pacífico, con las siguientes coordenadas UTM:

Zona UTM: 17M.
 Coordenadas Este (E): 573,000 m,
 Coordenadas Norte (N): 9,885,000 m (Figura 1).

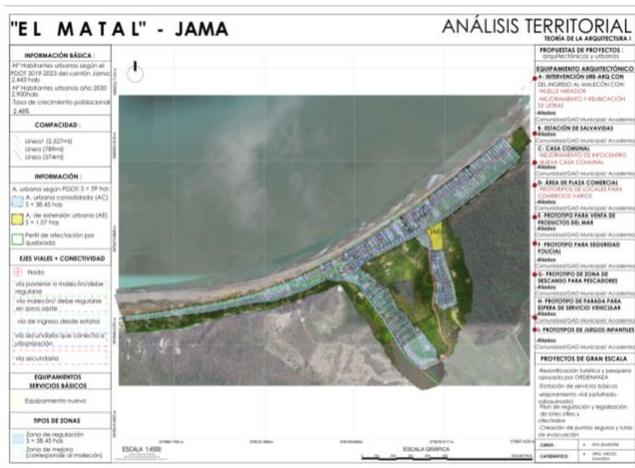


Figura 1: Imagen georreferenciada del Matal- Jama

Población y Muestra

El sector El Matal, ubicado en el cantón de Jama, provincia de Manabí, es una localidad costera cuyo dato exacto de habitantes no se encuentra disponible. Sin embargo, en un artículo publicado por El Universo en 2014, se menciona que El Matal es un puerto pesquero que albergaba alrededor de 2,000 habitantes en ese entonces, lo que sirve como referencia para la estimación poblacional.

Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), se considera que en cada familia ecuatoriana habitan, en promedio, 4 personas. Con base en esta cifra, se puede calcular el número aproximado de viviendas en El Matal para determinar una muestra representativa.

$$\# \text{ de vivienda} = \frac{2000 \text{ habitante}}{4 \text{ personas por familia}} = 500 \text{ viviendas} \quad (1)$$

Para obtener una muestra representativa de las viviendas, se empleó la fórmula de muestra para poblaciones finitas de Cochran (1977), donde:

- n es el tamaño de la muestra.
- N es el tamaño de la población (500 viviendas).
- Z es el valor de la distribución normal estándar (1.96 para un nivel de confianza del 95%).
- p es la proporción estimada de la característica de interés (se toma como 0.5, ya que no se tiene información previa).
- E es el margen de error permitido (0.05, o 5%).

El cálculo resultó en una muestra de 93 viviendas.

3. Resultados

3.1 Clasificación de la vulnerabilidad

El análisis de los datos obtenidos de las 93 edificaciones evaluadas mediante el formulario FEMA P-154 muestra una predominancia de estructuras con baja vulnerabilidad sísmica, que representan el 85% de la muestra total. La clasificación de vulnerabilidad se basó en los puntajes finales calculados, donde valores inferiores al puntaje mínimo requerido indicaron estructuras con alta vulnerabilidad. En este caso, el promedio del puntaje básico fue de 1.61 (± 0.59), lo cual indica una distribución centrada en niveles aceptables.

La distribución de los puntajes básicos muestra una tendencia hacia valores superiores al puntaje mínimo requerido, con un leve sesgo hacia valores más bajos en ciertas tipologías estructurales (Figura 2).

En cuanto al grado de revisión, el 90% de las inspecciones indicó una revisión parcial en los exteriores y un 70% reportó

elementos visibles en el interior, lo que sugiere una cobertura adecuada del procedimiento de evaluación visual (Figura 3).

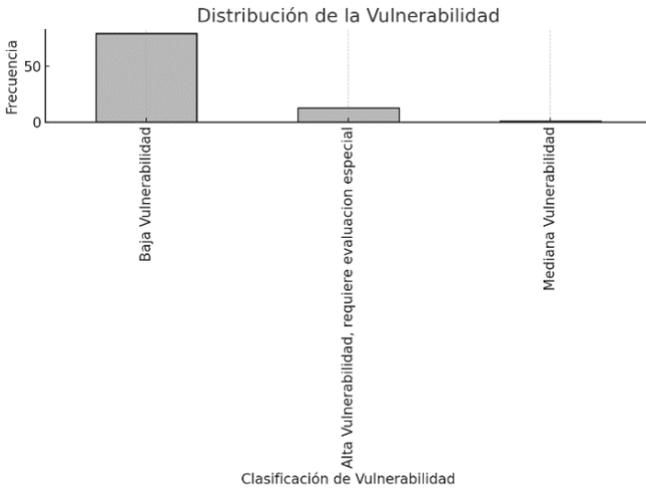


Figura 2: Distribución de la vulnerabilidad

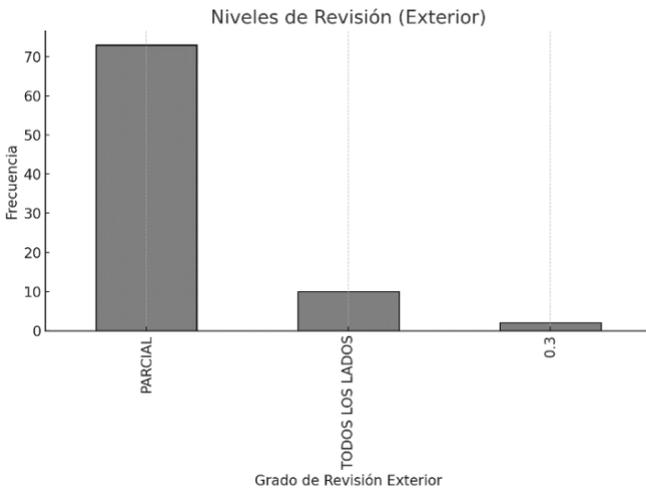


Figura 3: Niveles de revisión en el exterior.

El porcentaje de grados de revisión exterior e interior por tipo de estructura resalta la necesidad de inspecciones más detalladas en ciertas tipologías.

Otros riesgos

En la dimensión de otros riesgos, un 15% de las edificaciones presentaron señales de deterioro significativo, incluyendo daños estructurales y riesgos geológicos como licuación. Este hallazgo recalca la necesidad de acciones correctivas en un subconjunto de estructuras (Figura 4).

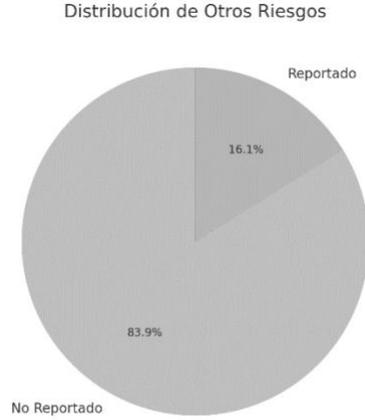


Figura 4: Distribución de otros riesgos.

La distribución de riesgos adicionales notificados y no notificados enfatiza la importancia de identificar peligros complementarios a la vulnerabilidad estructural.

Variables independientes y sus dimensiones

Tipología estructural. El análisis por tipo de sistema estructural reveló que la tipología W1 (pórticos ligeros de madera) representa el 50% de la muestra, mientras que las tipologías C3 (mampostería sin refuerzo) y C1 (pórticos de hormigón armado) constituyen el 30% y 20%, respectivamente. Las tipologías C3 presentan los puntajes finales más bajos, lo que las posiciona como las más vulnerables en términos sísmicos (Figura 5).

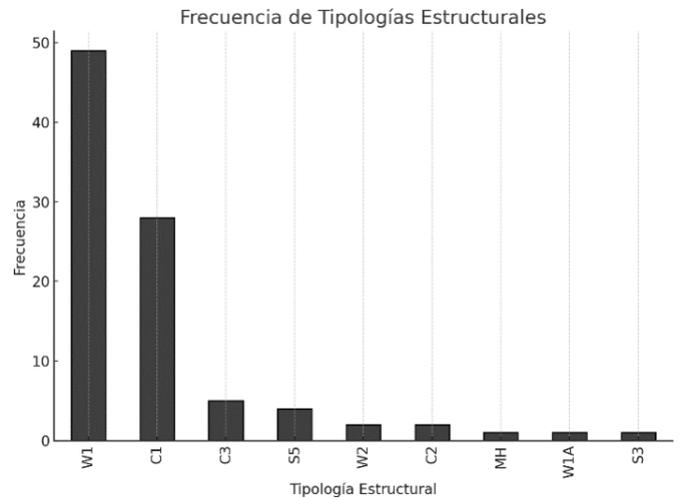


Figura 5: Distribución de los puntajes finales por tipología estructural.



Edad de la construcción. El rango de edades de las edificaciones muestra una distribución balanceada entre tres categorías: precódigo moderno (antes de 2001), código en transición (2001-2015) y post-código moderno (después de 2015). El 40% de las estructuras fueron construidas antes de 2001, las cuales presentan mayor frecuencia de irregularidades graves y moderadas, afectando negativamente sus puntajes finales (Figura 6).

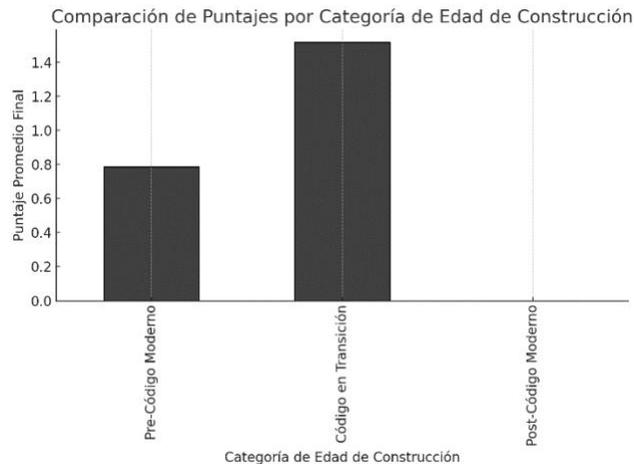


Figura 6: Comparación de puntajes finales según la edad de construcción.

4. Discusión

Los resultados obtenidos mediante la aplicación del Formulario FEMA P-154 confirman que, si bien una parte sustancial de las edificaciones en El Matal presenta una baja vulnerabilidad sísmica, persiste un número significativo de construcciones con irregularidades críticas y riesgos geológicos adicionales. Este hallazgo responde directamente a la problemática señalada en la introducción, donde se advirtió sobre la fragilidad de los asentamientos costeros y la necesidad de fortalecerlos ante futuros eventos sísmicos. La elevada proporción de edificaciones erigidas antes de la adopción de códigos modernos pone de relieve la urgencia de actualizar las normativas y emprender programas de reforzamiento estructural, especialmente en construcciones de mampostería sin refuerzo (Moreno & Bairán, 2012).

Asimismo, la identificación de factores geológicos subraya la importancia de integrar estudios geotécnicos al momento de evaluar el riesgo sísmico, con el fin de sustentar de manera más sólida las decisiones de planificación y mitigación. De esta forma, la investigación no solo ofrece un panorama claro del nivel de vulnerabilidad sísmica en el sector, sino que también aporta lineamientos concretos para la formulación de estrategias de intervención, en sintonía con las necesidades socioeconómicas y las particularidades del contexto local.

5. Conclusiones

Los resultados indican que, si bien una proporción significativa de las edificaciones en El Matal exhibe una vulnerabilidad sísmica moderada o baja de acuerdo con la metodología FEMA P-154, existe un grupo relevante de estructuras con irregularidades críticas y riesgos complementarios que exigen intervenciones prioritarias (Ramírez & Ferreira, 2024).

En particular, las construcciones erigidas con mampostería no reforzada (C3) registran los puntajes más desfavorables, coincidiendo con trabajos previos que resaltan la susceptibilidad de este tipo de edificación en entornos de alta sismicidad (Quijano & Rivera, 2023).

Asimismo, la elevada frecuencia de edificaciones anteriores a 2001 —no sujetas a códigos modernos— evidencia la eficacia de las normativas sismo-resistentes y la urgencia de reforzar aquellas construcciones que no cumplan con estándares actualizados (Godínez-Domínguez & Tena-Colunga, 2014).

La detección de factores no estructurales (por ejemplo, daños severos en elementos constructivos) y de condiciones geológicas adversas refuerza la necesidad de un enfoque integral en la planificación de medidas de mitigación, tal como lo señalan estudios que recomiendan sumar evaluaciones geotécnicas a los análisis estructurales. En conjunto, estos hallazgos subrayan la importancia de coordinar esfuerzos entre autoridades locales, profesionales de la construcción y la comunidad para establecer estrategias sostenibles de reforzamiento y prevención, orientadas a elevar la resiliencia de las edificaciones y salvaguardar la seguridad de la población en zonas costeras de alta sismicidad.

Recomendaciones y limitaciones

En primer lugar, se recomienda priorizar el reforzamiento de aquellas edificaciones con mayor riesgo de colapso según la evaluación realizada con el Formulario FEMA P-154, en especial las construidas con mampostería no reforzada (C3) y anteriores a la vigencia de normativas modernas. Para optimizar esta labor, resulta conveniente revisar y fortalecer los códigos sismo-resistentes locales, incorporando directrices específicas para la rehabilitación de estructuras existentes y procurando adaptarlas a las condiciones económicas y constructivas propias del contexto costero. Asimismo, la implementación de un sistema de monitoreo continuo, complementado con la capacitación de la comunidad en materia de preparación y respuesta ante desastres, contribuirá a afianzar una cultura de seguridad y resiliencia sísmica.

Por otra parte, se considera fundamental promover investigaciones multidisciplinarias que integren la ingeniería estructural, la geología y las ciencias sociales para abordar de manera holística la problemática de la vulnerabilidad sísmica. En este sentido, se sugiere la realización de estudios geotécnicos detallados que incluyan análisis de suelos y condiciones ambientales que puedan incidir en el comportamiento estructural. Dichos estudios servirían como base para diseñar intervenciones precisas y planes de mitigación ajustados a la realidad local, beneficiando no solo al sector El Matal, sino también a otras comunidades costeras que enfrentan riesgos sísmicos similares.

La primera limitación radica en el alcance de la metodología utilizada: el Formulario FEMA P-154 provee una inspección visual rápida, lo cual implica un nivel de detalle limitado. Edificaciones con daños no visibles o características particulares pueden requerir estudios complementarios, como ensayos no destructivos o análisis estructurales más profundos, para obtener una clasificación de vulnerabilidad más certera. Además, en algunos casos no fue posible acceder plenamente a todas las zonas de las edificaciones — especialmente interiores y niveles superiores —, lo que restringe la exhaustividad de la inspección.

Una segunda limitación se vincula a la muestra y a los factores contextuales que inciden en la vulnerabilidad sísmica. En lo referente a la población, se carece de datos censales recientes y precisos, lo que dificulta la extrapolación de los resultados a todo el sector. Asimismo, la investigación incorporó de manera parcial factores geológicos y socioeconómicos que, según diversos estudios, pueden tener un impacto significativo en la magnitud de los daños ante un evento sísmico. Por lo tanto, para lograr una visión integral, sería necesario profundizar en estas variables e incluir metodologías de análisis que contemplen tanto las características del subsuelo como las dinámicas sociales y económicas de la comunidad.

Referencias

- Amigo, C., Álamos, N., Arrieta, D., Billi, M., Contretas, M., Larraguibel, C., Muñoz, A., Smith, P., Urquiza, A., Vargas, M., Videla, J., & Winckler, P. (2021). Análisis de riesgo integrado de asentamientos humanos en la conurbación de Viña del Mar y Valparaíso. Recuperado de: <https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2021/09/Amigo-et-al-2021-An%C3%A1lisis-de-riesgo-integrado-de-asentamientos-humanos-en-la-conurbaci%C3%B3n-de-Vi%C3%Bl-a-del-Mar-y-Valpara%C3%ADso.pdf>
- Baque-Solís, B. S., Álava-Rosado, D., Panchana-Vera, R. E., Zamora-Sánchez, D. J., & Alcívar-Castro, J. R. (2024). Eventos naturales y crecimiento urbano informal en zonas costeras de Ecuador. *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 34(1), 156-169. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v34n1.111660>
- Cunalata, F., & Caiza, P. (2022). Estado del Arte de Estudios de Vulnerabilidad Sísmica en Ecuador. *Revista Politécnica*, 50(1), 55-64. <https://doi.org/10.33333/rp.vol50n1.06>
- Godínez-Domínguez, E., & Tena-Colunga, A. (2014). Importancia de la redundancia estructural en el diseño sísmico. *Ingeniería*, 31. https://www.researchgate.net/publication/273490565_Importancia_de_la_redundancia_estructural_en_el_dise%C3%B1o_no_sismico
- Ramírez, R., & Ferreira, M. (2024). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios históricos de mampostería usando modelos semánticos apoyados en evidencias empíricas: Aprendizajes en México. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 8(1), 131-150. <https://doi.org/10.55467/reder.v8i1.142>
- Moreno, R. & Bairán, J. (2012). Evaluación sísmica de los edificios de mampostería típicos de Barcelona aplicando la metodología Risk-UE. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 28 (3), 161-169. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2012.03.007>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2017). Memorias, reconstruyendo las cifras luego del sismo. Recuperado de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/Memorias%2013%20abr%202017.pdf>
- Loor-Loor, E., Palma-Zambrano, W., & García-Vinces, L. (2021). Vulnerabilidad sísmica en viviendas de zona rural: el caso Santa Marianita – Manta – Ecuador: Artículo de investigación. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación*. ISSN: 2737-6249., 4(7), 2-16. Recuperado a partir de <https://www.journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/22>
- Milanés, C., & Hidalgo, R. V. (2018). Ciudades bajo riesgo costero: los casos de Santiago de Cuba y Portoviejo. *Arquitectura y Urbanismo*, 39(2), 31-44. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/3768/376858946004/376858946004.pdf>
- Quijano, G., & Rivera, S. (2023). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del colegio Esteban Pavletich Trujillo, Amarilis-Huánuco 2022 [Tesis de Grado. Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/119380>

Contribución de los autores (CRediT)

Mora-Albán, V.: Conceptualización, Curación de datos y contenidos, Análisis formal de datos, Investigación, Metodología, Software, Validación, Visualización, Redacción- borrador original, Redacción – revisión y edición. **Baque-Solís, B.:** Conceptualización, Curación de datos y contenidos, Análisis formal de datos, Investigación, Metodología, Supervisión, Redacción – revisión y edición. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Proyecto de investigación relacionado

Esta investigación se enmarca en el Proyecto de Investigación: "*Estrategias para la implementación de arquitectura y urbanismo sostenible en la costa norte de Manabí*" financiado por la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Conflicto de intereses

Los autores han declarado que no existe conflicto de intereses en esta obra.

Nota del Editor

Descargo de responsabilidad: Los datos, declaraciones, opiniones contenidas en el documento son responsabilidad únicamente de los autores y no de la *Revista Científica FINIBUS – Ingeniería, Industria y Arquitectura*. La Revista y sus editores renuncian a toda responsabilidad por daño a persona o propiedad resultante de los métodos, instrucciones, producto o idea mencionado en el contenido.



Derechos de autor 2025. Revista Científica FINIBUS - ISSN: 2737-6451.

Esta obra está bajo una licencia: Internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0