

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA Y SOCIAL DE LAS VIVIENDAS DEL CANTÓN GUARANDA, ECUADOR, DESPUÉS DEL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DE 2016

Víctor González-Rivera ¹, Anita Serrano-Castro ², Martha González-Rivera ² y Favian Bayas-Morejón ^{3*}

1. Universidad Estatal
Península de Santa Elena, La
Libertad, Ecuador.

2. Instituto Superior
Tecnológico El Libertador,
Sede Matriz Chimbo, Bolívar,
Ecuador.

3. Universidad Estatal de
Bolívar, Facultad de Ciencias
Agropecuarias, Carrera de
Agroindustrias, Guaranda,
Ecuador.

*Autor de correspondencia:
isba@alumni.upv.es

DOI:
[http://doi.org/10.55467/
reder.v8i2.154](http://doi.org/10.55467/reder.v8i2.154)

RECIBIDO
21 de mayo de 2023

ACEPTADO
9 de octubre de 2023

PUBLICADO
1 de julio de 2024

**Formato cita
Recomendada (APA):**
González-Rivera, V.,
Serrano-Castro, A.,
González-Rivera, M.
& Bayas-Morejón, F.
(2024). Evaluación de la
vulnerabilidad física y social
de las viviendas del cantón
Guaranda, Ecuador, después
del terremoto del 16 de abril
de 2016. *Revista de Estudios
Latinoamericanos sobre
Reducción del Riesgo de
Desastres REDER*, 8(2), 5-14.
[http://doi.org/10.55467/
reder.v8i2.154](http://doi.org/10.55467/reder.v8i2.154)



Todos los artículos
publicados en REDER siguen
una política de Acceso
Abierto y se respaldan en una
Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial 4.0
Internacional.

*Revista de Estudios
Latinoamericanos sobre
Reducción del Riesgo de
Desastres (REDER)*

Diseño: Lupe Bezzina

RESUMEN

Se evaluó la vulnerabilidad física de edificaciones del cantón Guaranda, Ecuador, afectadas por el sismo de 7,8 en la escala de magnitud del 16 de abril 2016. Se analizó riesgos en función de la vulnerabilidad de 1.170 edificaciones mediante encuestas, considerando aspectos geométricos, constructivos, estructurales, cimentación, entorno y suelos. La vulnerabilidad total se obtuvo mediante la ponderación de las vulnerabilidades de los componentes según los factores de ponderación relativos categorizados en vulnerabilidad baja, media y alta. Se desarrolló un modelo de regresión que explicó la contribución al total de vulnerabilidad de las variables independientes estudiadas. Los resultados evidenciaron las aceleraciones sísmicas de la zona y contribuirán al cumplimiento del plan de ordenamiento territorial que conlleve a la ejecución de las normas de construcción.

PALABRAS CLAVES

Vulnerabilidad física; Sistemas de información geográfica; Gestión de riesgos; Ecuador

ASSESSMENT OF THE PHYSICAL AND SOCIAL VULNERABILITY OF HOUSING IN THE GUARANDA CANTON, ECUADOR, AFTER THE EARTHQUAKE OF APRIL 16, 2016

ABSTRACT

The physical vulnerability of buildings in the Guaranda canton in Ecuador affected by the earthquake of 7,8 on the magnitude scale of April 16, 2016, was evaluated. Risks were analyzed based on the vulnerability of 1170 buildings through surveys considering geometric, construction, structural, foundation, environment, and soils. The total vulnerability was obtained by weighting the vulnerabilities of the components according to the relative weighting factors categorized as low, medium and high vulnerability. A regression model was developed that explained the contribution to the total vulnerability of the independent variables studied. The results showed the seismic accelerations in the area and will contribute to compliance with the territorial planning plan that leads to the execution of construction standards.

KEYWORDS

Physical Vulnerability; Geographic Information Systems; Risk Management; Ecuador

INTRODUCCIÓN

El Ecuador, un país con múltiples amenazas en términos de desastres, ha experimentado numerosos terremotos significativos en los últimos 460 años (Cabezas, 2016). Esto se debe en parte a su ubicación geológica en el "Bloque Andino", una microplaca de la placa Sudamericana que interactúa con varias otras placas tectónicas. Esta interacción ha creado un sistema de fallas y subducción que son las principales fuentes de actividad sísmica en el país (Quinde & Reinoso, 2016).

En los últimos años, el concepto de vulnerabilidad ha sido estudiado y aplicado a diferentes escalas espaciales y en una amplia gama de disciplinas (Aretano 2014). La vulnerabilidad es una condición influenciada por factores y procesos de naturaleza diversa, incluyendo los naturales, sociales, económicos y ambientales, que incrementan la susceptibilidad de una sociedad frente a un peligro específico. La vulnerabilidad se evidencia durante un desastre, particularmente cuando no se han destinado suficientes recursos para la prevención y mitigación, y se ha tolerado un nivel de riesgo excesivamente alto. Es esencial entender que la vulnerabilidad sísmica es una característica inherente de la estructura y no está relacionada con la peligrosidad del lugar. (UNDRR, 2017; Castro, 2013).

La vulnerabilidad sísmica se define como la susceptibilidad de la vivienda a sufrir daños estructurales en caso de un evento sísmico determinado (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2001).

La calidad de la construcción en Ecuador es una preocupación importante, especialmente dada esta amenaza sísmica constante. El terremoto de Pedernales en 2016 reveló que muchas estructuras se habían construido sin criterios estructurales adecuados o supervisión profesional, lo que resultó en colapsos y daños significativos (Fernández et al. 2018). Esto implica realizar estudios para predecir cómo se comportarán las estructuras durante un terremoto y planificar en consecuencia para mitigar los efectos (Fernández et al. 1995).

La vulnerabilidad sísmica depende de la forma como está construida la estructura, es decir, la geometría de ella, también la vulnerabilidad depende de los elementos constructivos y la forma como estos se fabrican (Alvarado et al. 2015). Su evaluación ayuda a los formuladores de políticas a centrar los esfuerzos de mitigación en los individuos más vulnerables según sus indicadores (Frazier et al. 2014; Karimzadeh et al. 2014). Para ello, se han propuesto componentes y métodos para sistematizar las vulnerabilidades (Ettinger et al. 2015).

Nuestro país expuesto a un peligro sísmico constante, enfrenta la posibilidad de sufrir las consecuencias de eventos sísmicos, que pueden resultar en la pérdida de vidas humanas y pérdidas materiales y económicas. Por lo tanto, es esencial realizar estudios de vulnerabilidad sísmica para conocer la situación actual de las edificaciones existentes, determinar su nivel de vulnerabilidad y proponer planes de mitigación (Cunlata & Caiza 2022). Estos estudios también permiten determinar el comportamiento probable de una estructura ante dichos eventos, lo que facilita la planificación y mitigación de los grandes efectos que estos pueden causar (Fernández et al. 1995).

El objetivo de este estudio fue evaluar la vulnerabilidad física de las viviendas que resultaron afectadas por el sismo en la ciudad de Guaranda, Ecuador. El sismo, que tuvo una magnitud de 7,8 en la escala de magnitud, ocurrió el 16 de abril de 2016 y tuvo su epicentro en la provincia de Manabí, a una distancia de 324,6 km del cantón Guaranda. Al llegar a Guaranda, la magnitud del sismo se redujo a 6,4 en la escala de magnitud. Con el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se generó la distribución espacial de la vulnerabilidad y de los daños físicos que se produjeron en la infraestructura de las viviendas de la ciudad de Guaranda.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el cantón Guaranda, provincia de Bolívar, en las parroquias Veintimilla, Ángel Polibio Chávez y Guanujo (Ver figura 1), clasificado según Holdridge como zona de vida pre montano templado seco, con altitudes de 2.600 a 4.100 msnm, temperatura media de 9 a 18°C y precipitación media anual de 1.250 mm, con lluvias dispersas y severas (González, 2008).

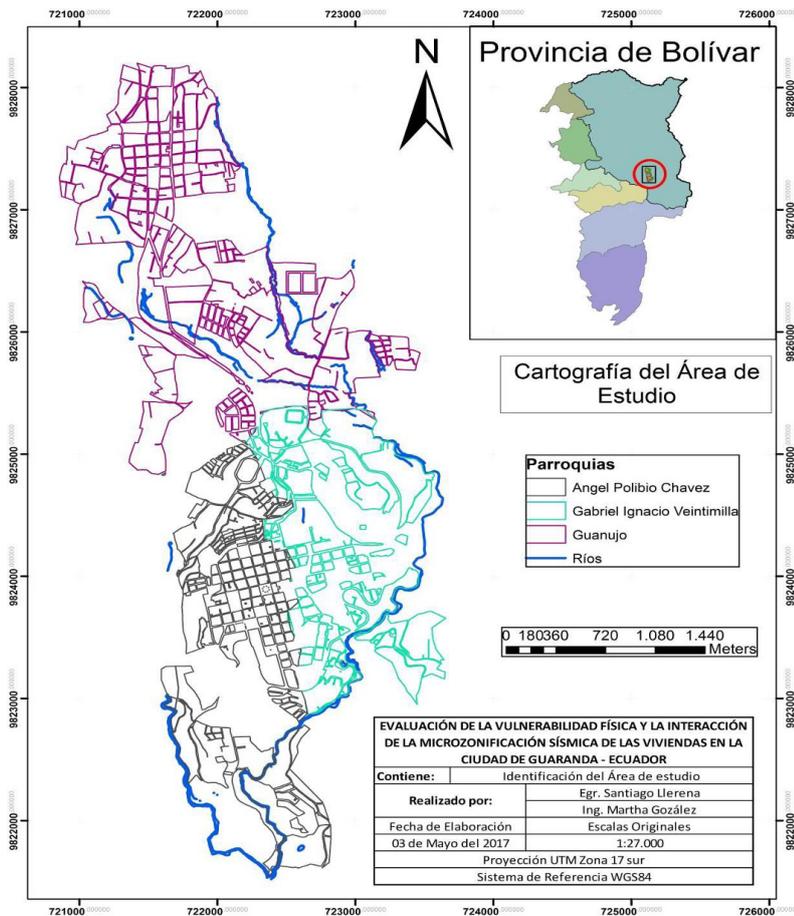


Figura 1. Mapa de la división política del cantón Guaranda y zonas de estudio
Fuente: Lanera y Gonzalez, 2017.

Para el análisis de vulnerabilidad física, se inspeccionaron 1.170 viviendas, de las 10.000 existentes en las parroquias estudiadas, mediante encuestas para medir los componentes de vulnerabilidad frente al sismo del 16 de abril de 2016. Para evaluar la vulnerabilidad se utilizó el Método de la Asociación de Ingeniería Sísmica Colombiana (AIS) bajo los siguientes parámetros: Aspectos geométricos (20%): Irregularidad en planta de la edificación, cantidad de muros en ambas direcciones, irregularidad en altura. Aspectos constructivos (20%): Calidad (aspectos físicos) de las juntas de pega en mortero, tipo y disposición de las unidades de mampostería, calidad de los materiales. Aspectos estructurales (30%): Muros confinados y reforzados, detalles de columnas y vigas de confinamiento, vigas de amarre o corona, características de aberturas, entrepiso y amarre de cubiertas y Cimentación (10%), entorno (10%), suelos (10%) (Flores & Morocho, 2022).

La clasificación de vulnerabilidad de cada componente se obtuvo como el promedio de las calificaciones de las vulnerabilidades de los aspectos que conforman los componentes. La clasificación global de vulnerabilidad se determinó mediante la ponderación de las vulnerabilidades de los componentes según factores de ponderación relativos, categorizados en vulnerabilidad: Baja = 1, Media = 2, Alta = 3 (Aroca, & Tinajero. 2018).

El estudio incluye el análisis espacial a través del Sistema de Información Geográfica (SIG), basado en modelos de elementos finitos (FEM) y modelado estadístico (Yeager & Steiger, 2013). Además, se clasificó los daños sufridos de las estructuras en tres categorías: intenso, moderado y leve. De acuerdo al siguiente criterio: Daño leve: No hay daño estructural y el daño no estructural es leve. Daño moderado: Daño estructural leve y daño no estructural moderado. Daño intenso: Daño estructural moderado y daño no estructural severo (Ordaz, 2020). Para ello, se realizó el siguiente procedimiento:

1. Construcción de herramientas para el levantamiento de información.
2. Desarrollo de una matriz en Excel y guardado del archivo con texto delimitado por tabulaciones (txt) para desarrollar el mapa.

3. Construcción y mapeo SVI (*social vulnerability index*) mediante el software ArcGIS 9.3.
4. Análisis estadístico multivariado de los indicadores mediante el programa Statgraphics Centurión XVI.II, regresión y correlación de los resultados obtenidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del análisis de 1.170 encuestas correspondientes a igual número de edificaciones en las parroquias estudiadas para medir los componentes de vulnerabilidad frente al sismo del 16 de abril de 2016 se obtuvieron los siguientes resultados.

La Figura 2 ilustra el mapa de vulnerabilidad estructural de las viviendas en las tres parroquias de la ciudad de Guaranda. Se observa que la vulnerabilidad estructural es alta, con niveles que oscilan entre el 65% y 100%, lo que indica un potencial riesgo. La vulnerabilidad estructural se concentra principalmente en el centro de la ciudad, específicamente en las parroquias Gabriel Ignacio Veintimilla y Ángel Polibio Chávez. Por otro lado, la parroquia Guanujo, ubicada en la región norte de la ciudad, presenta un impacto menor. La generación de microzonas basados en los datos de vulnerabilidad estructural en el mapa proporciona una base sólida para que los tomadores de decisiones elaboren planes de mitigación en las áreas identificadas como de mayor riesgo. Esto coincide con lo determinado por Chimbolema y Goyes (2023) cuyo estudio se centró en la vulnerabilidad sísmica de las viviendas catalogadas como patrimonio cultural en el casco urbano de Guaranda, concluyendo que las viviendas patrimoniales presentan un alto grado de vulnerabilidad sísmica, debido a su génesis constructiva y a factores como la percolación de agua debido a las tuberías en mal estado y las lluvias, que han ido debilitando poco a poco las estructuras.

En su investigación sobre vulnerabilidad sísmica estructural de viviendas de albañilería confinada en el centro poblado La Curva en Arequipa, Colombia, Cari, (2018) determinó que gran porcentaje de las viviendas presenta una vulnerabilidad sísmica de media a alta, debido al suelo de cimentación, proceso constructivo, concepción y configuración estructural, calidad de los materiales y estado de conservación de las estructuras.

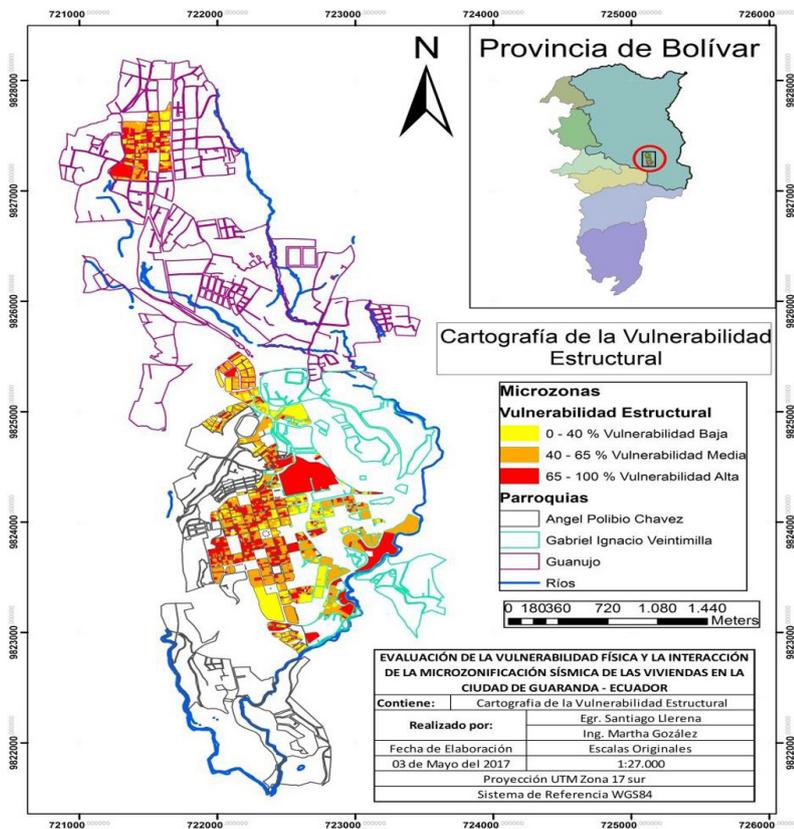


Figura 2. Mapa de la vulnerabilidad estructural de las viviendas de las parroquias Ángel Polibio Chávez, Gabriel Ignacio Veintimilla y Guanujo de la ciudad de Guaranda
Fuente: Llanera y Gonzalez, 2017.

La Figura 3 muestra un mapa de daños estructurales de las viviendas de acuerdo a su categorización en cada parroquia luego del terremoto del 16 de abril de 2016, cuyo epicentro fue en la provincia de Manabí. La parroquia Guanujo presenta más daños en edificaciones residenciales, a pesar de que el suelo de Guanujo es más estable y presenta un riesgo mínimo para la integridad estructural de las viviendas en comparación con otras parroquias. Entre los factores que contribuyeron a este daño se encuentra la estructura de las casas. Muchas de las construcciones en Guanujo son antiguas y están hechas de tierra apisonada, adobe o una combinación de ambos, y algunos edificios utilizan madera para la separación de los pisos. Estos materiales y técnicas de construcción pueden no ofrecer la resistencia necesaria para soportar un sismo. Edificaciones que no cumplen con las Normas de Construcción Ecuatoriana NEC (2014). Las casas de las parroquias Ignacio de Veintimilla y Ángel Polibio Chávez sufrieron daños moderados a menores, principalmente por sismología y características del suelo.

La ciudad de Guaranda está ubicada sobre suelo volcánico del Cuaternario, según Escorza (1993) y Portuguez y Mena (2011), la denominada depresión de Guaranda estuvo formada por un basamento volcánico con un espesor de 60 m y disminuye gradualmente en espesor a medida que se acerca a las montañas. Según Van Westen (2013), estos son todos los fenómenos desencadenantes endógenos (erupciones volcánicas o terremotos) o exógenos (meteorológicos extremos) que provocan procesos peligrosos en la superficie terrestre. Estos procesos peligrosos están relacionados con un conjunto de factores ambientales, como la geomorfología, topografía, geología, suelos, cobertura del suelo, etc.

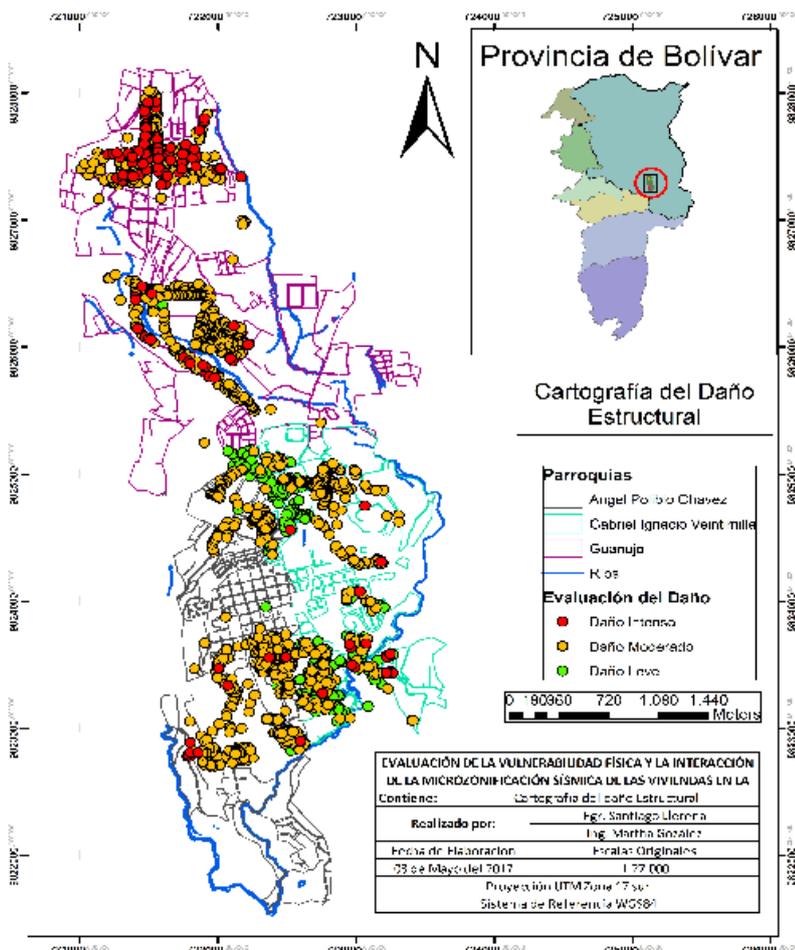


Figura 3. Mapa sobre categorización de daños estructurales de las viviendas de Guaranda
 Fuente: Llenera y González, 2017.

La Figura 4 muestra el resultado de la inspección visual realizada a las viviendas de la ciudad de Guaranda, evidenciando los daños en los elementos estructurales causados por el sismo del 16 de abril de 2016. Todas las viviendas representadas en la Figura 4 pertenecen a la parroquia Guanujo. Aquí, las viviendas construidas con tierras apisonadas sufrieron daños significativos,

incluyendo grietas y destrucción de paredes. Esto se debió a la ausencia de pilastras en su estructura y a la presencia de trabes de 90° entre las paredes, un riesgo que quedó en evidencia con el sismo. Por otro lado, en los edificios de hormigón armado, las columnas, vigas, juntas o nudos presentaron grietas debido al movimiento sísmico, que generó efectos de tracción, compresión, flexión y torsión. Además, las viviendas también sufrieron daños no estructurales en las paredes divisorias, instalaciones de servicios, ventanales y mampostería, debido al movimiento sísmico y a la fragilidad de los suelos. Según Carreño et al. (2011), el desprendimiento de elementos no estructurales puede representar un riesgo para la vida, pero no genera normalmente el colapso de los edificios, sino niveles de daño diferentes en los elementos estructurales y no estructurales de edificios con diferentes tipologías.



Figura 4. Daño en elementos estructurales

Fuente: Autores, 2017.

Nota: A) Daño moderado en pared frontal en casa de tapial, B) daño fuerte en la unión angular entre la pared frontal y lateral, C) daño moderado en la columna de hormigón armado, D) daño fuerte en la columna de hormigón armado. Daño en elementos no estructurales: E) daño fuerte en pared interna, F) daño moderado en la base de la columna por hundimiento de suelo.

Las zonas del centro urbano de la ciudad de Guaranda fueron menos afectadas por el sismo a diferencia de la parroquia Guanujo. Esto demostró que el tipo y la antigüedad de las construcciones son factores preocupantes que se deben considerar para mitigar el posible riesgo como consecuencia de un fenómeno natural adverso.

La Tabla 1 presenta la categorización del grado de vulnerabilidades de las viviendas del cantón Guaranda afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016. Se observa para todas las variables analizadas a través de la prueba de Tukey al 5% como son: calidad de las juntas de pega mortero (CJPM), disposición de las unidades de mampostería (TDUM), calidad de los materiales (CM), irregularidad en la planta de la edificación (IPE), cantidad de los muros en las dos direcciones, irregularidad en la altura (IH), muros confinados y reforzados (MCR), características de las aberturas (CA), cimentación (CI), suelos (S), entorno (ET) y total de la vulnerabilidad (TV), presentan diferencias estadísticamente significativas entre las medias ponderadas como alta, media o baja vulnerabilidad, las variables en estudio presentan vulnerabilidad alta.

En su investigación González y Flórez (2022) aseveran que los tipos de construcción determinan la vulnerabilidad alta, susceptible a factores externos bien sean por deslizamientos, sismos, inundaciones u otros riesgos. Además, señala que la principal causa de las malas prácticas de construcción puede atribuirse a la carencia del conocimiento técnico y la baja capacidad económica para la adquisición de materiales de buena calidad por parte de sus habitantes. En este proceso, no se tienen en cuenta los factores físicos del terreno, como las altas pendientes, la inestabilidad de los terrenos debido a los antecedentes de formación geológica y la incapacidad geotécnica de los suelos para soportar el peso de la vivienda, desconocimiento de las cargas de los elementos que componen una estructura uniforme para que sea estable, etc.

De acuerdo a Sioingeniería (2023) las características de las variables e indicadores de las viviendas, como el tipo de material de las viviendas, de paredes, de cobertura, de entresijos, de número de pisos, del año de construcción y estado de conservación, influyen en la vulnerabilidad estructural ante riesgo sísmico.

Variables	Medias Ponderadas				
	Alta	Media	Baja	ee	p
CJPM	2,61 ^a	1,51 ^b	1,00 ^c	0,588	0,0001
TDUM	2,55 ^a	1,59 ^b	1,00 ^c	0,320	0,0001
CM	2,60 ^a	1,42 ^b	1,00 ^c	0,241	0,0001
IPE	2,33 ^a	1,43 ^b	1,00 ^c	0,240	0,0001
CMD	2,39 ^a	1,52 ^b	1,00 ^c	0,241	0,0001
IH	2,12 ^a	1,39 ^b	1,00 ^c	0,264	0,0001
MCR	2,59 ^a	1,52 ^b	1,00 ^c	0,289	0,0001
CA	2,45 ^a	1,51 ^b	1,00 ^c	0,273	0,0001
CI	2,37 ^a	1,62 ^b	1,00 ^c	0,262	0,0001
S	2,28 ^a	1,58 ^b	1,00 ^c	0,263	0,0001
ET	2,05 ^a	1,36 ^b	1,00 ^c	0,309	0,0001
TV	2,40 ^a	1,50 ^b	1,00 ^c	0,060	0,0001

Tabla 1. Categorización del grado de vulnerabilidad de las viviendas en cantón Guaranda, provincia de Bolívar-Ecuador

Fuente: Autores, 2024.

Nota: ^{a, b, c} Medias con una letra diferente son significativamente diferentes ($p > 0,05$); ee= error estadístico, p=nivel de significancia.

Abreviaturas: Calidad de las juntas de pega mortero (CJPM), disposición de las unidades de mampostería (TDUM), calidad de los materiales (CM), irregularidad en la planta de la edificación (IPE), cantidad de los muros en las dos direcciones (CMD), irregularidad en la altura (IH), muros confinados y reforzados (MCR), características de las aberturas (CA), cimentación (CI), suelos (S), entorno (ET) y total de la vulnerabilidad (TV).

En la Tabla 2 se presentan las correlaciones de Pearson para las 11 variables estudiadas según las 1.170 encuestas levantadas en el cantón Guaranda, permitiendo medir la fuerza de la relación lineal entre cada par de variables. El valor-P prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. Para varios pares de variables, los valores-P son inferiores a 0,05, siendo significativamente correlacionadas, como TV vs CA ($r=0,76$ y $p=0,00$), TV vs Cimentación ($r=0,65$ y $p=0,00$), TV vs CM ($r=0,79$ y $p=0,00$), TDUM vs CMD ($r=0,64$ y $p=0,00$), TV vs CMD ($r=0,76$ y $p=0,00$), TDUM vs CM ($r=0,63$ y $p=0,00$) y TV vs MCR ($r=0,76$ y $p=0,00$), mostrando fuerte correlación positiva entre ellas a nivel de confianza del 95,00%. La vulnerabilidad total (TV) como variable respuesta tiene correlación estadística directa con las variables independientes. Las variables disposición de las unidades de mampostería (TDUM) (Aspectos Geométricos), calidad de los materiales (CM), muros confinados y reforzados (MCR) (Aspectos Constructivos), cantidad de los muros en las dos direcciones (CMD) (Aspectos Estructurales), características de las aberturas (CA) (Entorno) presentan una correlación fuerte ($\geq 0,7$) con relación a la vulnerabilidad total. Esto significa que la vulnerabilidad estructural ocurrida por el sismo a las viviendas dependió del tipo de material, calidad y de su construcción.

Se utilizó regresión múltiple para el análisis de la variable Total de Vulnerabilidad (TV). El resultado del modelo de regresión lineal múltiple describió la relación entre TV y las 11 variables independientes, así:

Equación 1

Modelo de Vulnerabilidad

$$= 0.0102 + 0.0901 * CA + 0.1055 * CI + 0.0714 * CJPM + 0.1009 * CM + 0.1214 * CMD + 0.0981 * ET + 0.1026 * IH + 0.0216 * IPE + 0.0946 * MCR + 0.1148 * S + 0.0881 * TDUM$$

Dado que el valor-P es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables a nivel de confianza del 95,0%. El estadístico R^2 indicó que el modelo ajustó al 97,07% de la variabilidad en TV. El estadístico R^2 ajustado, más apropiado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es del 97,04%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,08.

		CA	CI	CIPM	CM	CMD	ET	IH	IPE	MCR	S	TDUM	TV
CA	r		0,42	0,52	0,62	0,58	0,35	0,57	0,34	0,60	0,34	0,55	0,76
	P		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CI	r	0,42		0,36	0,43	0,37	0,40	0,35	0,11	0,38	0,62	0,35	0,65
	P	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CIPM	r	0,52	0,36		0,53	0,53	0,33	0,46	0,38	0,59	0,32	0,55	0,70
	P	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CM	r	0,62	0,43	0,53		0,65	0,36	0,53	0,36	0,64	0,36	0,64	0,80
	P	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CMD	r	0,58	0,37	0,53	0,65		0,32	0,49	0,35	0,57	0,32	0,64	0,76
	P	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ET	r	0,35	0,40	0,33	0,36	0,32		0,28	0,15	0,34	0,42	0,29	0,56
	P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
IH	r	0,57	0,35	0,46	0,53	0,49	0,28		0,30	0,52	0,30	0,47	0,68
	P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
IPE	r	0,34	0,11	0,38	0,36	0,35	0,15	0,30		0,35	0,09	0,32	0,40
	P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
MCR	r	0,60	0,38	0,59	0,64	0,57	0,34	0,52	0,35		0,35	0,59	0,77
	P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
S	r	0,34	0,62	0,32	0,36	0,32	0,42	0,30	0,09	0,35		0,29	0,60
	P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
TDUM	r	0,55	0,35	0,55	0,64	0,64	0,29	0,47	0,32	0,59	0,29		0,74
	P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
TV	r	0,76**	0,65**	0,69**	0,79**	0,76**	0,55**	0,68**	0,39**	0,76**	0,60**	0,73**	
	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla 2. Correlaciones de Pearson de las variables de vulnerabilidad física en el cantón Guaranda provincia de Bolívar

Fuente: Autores, 2024.

Nota: ** Altamente significativo al 1% de probabilidad

En la Figura 5 se presentan los residuos atípicos de todas las observaciones que tienen residuos mayores a 2 en valor absoluto. Los residuos miden cuántas desviaciones estándar se dispersan de cada valor observado de TV del modelo ajustado, utilizando todos los datos excepto esa observación. En este caso, hay 46 residuos mayores que 2,6 de 1.170 casos analizados.

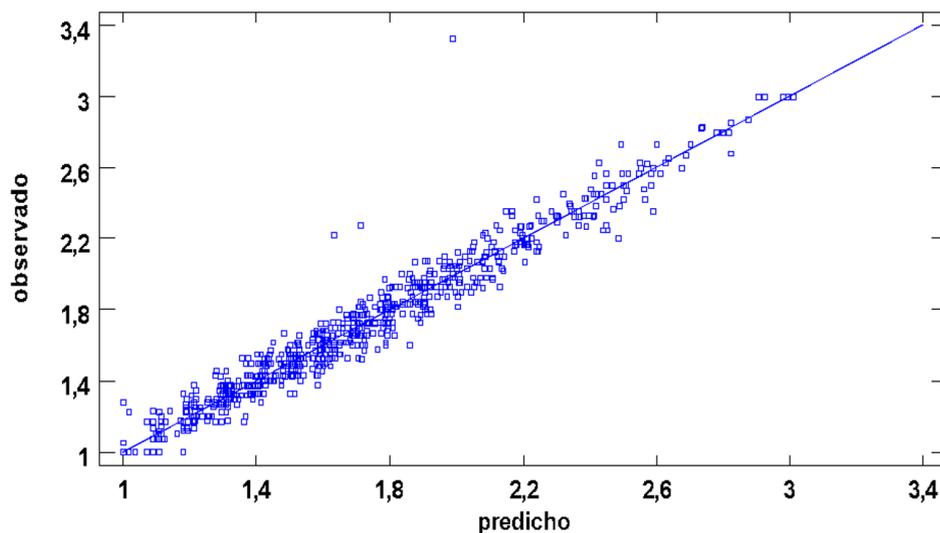


Figura 5. Análisis de regresión múltiple de vulnerabilidad total en el cantón Guaranda provincia Bolívar

Fuente: Autores, 2024.

El estudio de la vulnerabilidad física de las viviendas permitió categorizar los daños estructurales después del sismo del 16 de mayo de 2016 en la ciudad de Guaranda demostró que no dependió de la sismografía y características de los suelos, sino del tipo, material y edades de construcción de las viviendas. Frente a un sismo, influye la tipología de diseño, calidad y otras características de los materiales y de la técnica del proceso constructivo, y al nivel de daño ocurrido se le denomina la vulnerabilidad sísmica” (Tucto, 2018).

CONCLUSIONES

Este estudio proporciona una valiosa aproximación a la vulnerabilidad estructural de las viviendas en el cantón Guaranda utilizando modelos estadísticos, aunque estos no pueden explicar completamente todas las relaciones causales ni deben ser generalizados, la metodología seleccionada y la interpretación de los resultados subrayan la necesidad de complementar estos hallazgos con más investigaciones para confirmar y ampliar estos resultados.

La evaluación de la vulnerabilidad física de las viviendas en la ciudad de Guaranda se caracterizó como moderada y leve. Sin embargo, la parroquia Guanujo, sufrió más daños en las edificaciones residenciales después del terremoto del 16 de abril de 2016. Esta vulnerabilidad se constató de forma física y analítica, encontrándose factores geométricos, constructivos y estructurales que tuvieron un impacto en las viviendas en las zonas de estudio.

Esta investigación identificó que los daños observados en las estructuras de las viviendas de la ciudad de Guaranda no dependen única y exclusivamente de la sismografía de los suelos, sino que también del tipo, edades y materiales de construcción de las viviendas, entre otros factores. Esto último resalta la necesidad de avanzar hacia una gestión integral de los riesgos (Sandoval et al., 2023) en donde, por un lado, se avance en mejorar las condiciones físicas de las infraestructuras y edificios, pero por otro, también, en atender los factores subyacentes del riesgo, en particular la vulnerabilidad social y la gobernanza de los riesgos (Lavell et al., 2020).

REFERENCIAS

- Alvarado, P., Bustos, E., & Quintero, C. (2015). Análisis de vulnerabilidad sísmica estructural caso asentamiento subnormal barrio Hacienda Los Molinos localidad Rafael Uribe Uribe de Bogotá DC. [Tesis pregrado]. UGC. <http://hdl.handle.net/11396/3480>
- Aretano, R., Semeraro, T., Petrosillo, I., De Marco, A., Pasimeni, M., Zurlini, G. (2015). Mapping ecological vulnerability to fire for effective conservation management of natural protected areas. *Ecological Modelling*, 295, 163–175.
- Aroca, G., & Tinajero, A. (2018). Evaluación de la vulnerabilidad estructural, no estructural y funcional, frente a probables emergencias o desastres en el Hospital General del Puyo. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 3(2), 49.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2001). *Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas de Mampostería*. San Salvador: LA RED (La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina).
- Cabezas, J. (2016). *Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica del Edificio de la Facultad de Comunicación Social, de la Universidad Central del Ecuador, utilizando la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-RE, 2015)*. [Tesis pregrado] Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Cari, E. (2018). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica estructural de viviendas de albañilería confinada en el centro poblado La Curva, Distrito de Deán Valdivia, Arequipa. [Tesis de pregrado]. Universidad Peruana Unión.
- Carreño, M., Cardona, O., Barbat, A. (2011). Evaluación de la habitabilidad de edificios afectados por sismo utilizando la teoría de conjuntos difusos y las redes neuronales artificiales. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería* 27(4), 278–293.
- Castro, J. (2013). Evaluación y zonificación de los procesos geodinámicos que influyen en el área urbana del cantón Guaranda. [Tesis de pregrado]. Universidad Central del Ecuador, Quito-Ecuador.
- Chimbolema, E., & Goyes, J. (2023). Vulnerabilidad sísmica de las viviendas catalogadas como patrimonio cultural del casco urbano del cantón Guaranda. *Journal of Science and Research*, 8(1), 212–233. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/2863>
- 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/tp.vol50n1.06>
- Escorza, L. (1993). *Levantamiento geológico de la depresión de Guaranda*. UCE.
- Ettinger, S., Mounaud, L., Magill, C., Yao-Lafourcade, A., Thouret, J., Manville, V., Negulescu, C., Zuccaro, G., Gregori, D., Nardone, S., Luque, J., Arguedas, A., Macedo, L., Manrique, N. (2015). Building vulnerability to hydro-geomorphic hazards: Estimating damage probability from qualitative vulnerability assessment using logistic regression. *Journal of Hydrology*, 514 Part A(October), 563–581. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.017>

- Fernández, I., Gómez, A., Carchipulla, N., Bonucci, Y., & Pavón, M. (2018). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de 97 edificaciones de la "Comuna Santa Clara de San Millán", Quito. *EÍDOS UTE Revista*, 11, 1-8. <https://doi.org/10.29019/eidos.voii.417>
- Fernández, J., Valverde, J., & Yepes, H. (1995). *Proyecto para el manejo del Riesgo Sísmico de Quito*. IGEPN.
- Flores, V., & Molochó, H. (2022). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica estructural de viviendas de albañilería confinada del barrio Niño Dios, distrito de Cutervo, Cajamarca*. UCV.
- Frazier, T., Thompson, C., Dezzani, R. (2014). A framework for the development of the SERV model: A Spatially Explicit Resilience-Vulnerability model. *Applied Geography Safety Science*, 51, 158-172.
- González, C., & Flórez, Y. (2022). Physical vulnerability in housing on the periphery in Manizales, Colombia. *Estudios demográficos y urbanos*, 37(3), 935-976.
- Gonzalez, M. (2008). Caracterización socio-económica y ambiental de los sistemas de producción en la subcuenca del Río Chimbo. Provincia Bolívar-Ecuador. [Tesis de Pregrado]. Universidad Estatal de Bolívar.
- Karimzadeh, S., Miyajima, M., Hassanzadeh, R., Amiraslanzadeh, R. & Kamul, B. (2014). A GIS-based seismic hazard, building vulnerability and human loss assessment for the earthquake scenario in Tabriz. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66, 263-280.
- Lavell, A., & Lavell, C. (2020). *El COVID-19: Relaciones con el riesgo de desastres, su concepto y gestión*. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. https://www.desenredando.org/public/2020/Lavell_2020-07_Covid-19_y_Desastre_Final.pdf
- Normas Ecuatorianas de Construcción (NEC). (2014). *Peligro sísmico, diseño sismo resistente*. Editorial Dirección de Comunicación Social. MIDUVI.
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres UNDRR. (2017). *Grupo de Trabajo sobre la Medición y Registro de Indicadores Relativos a la Reducción del Riesgo de Desastres (RRD)*. UNDRR. https://www.undrr.org/sites/default/files/inline-files/Marco-teo%CC%81rico-datos-estadi%CC%81sticas-desastres_o.pdf
- Ordaz, A. (2020). Posible impacto socioeconómico por sismo de moderada magnitud. Aplicación a la ciudad de San Cristóbal, Cuba occidental. *Investigaciones geográficas*, (102). <https://doi.org/10.14350/ig.59839>
- Quinde, P., & Reinoso, E. (2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 94, 1-24.
- Sandoval, V., Voss, M., Flörchinger, V., Lorenz, S. & Jafari, P. (2023). Integrated Disaster Risk Management (IDRM): Elements to Advance its Study and Assessment. *International Journal of Disaster Risk Science*, 14(3), 343-356. <https://doi.org/10.1007/s13753-023-00490-1>
- Sioingeniería. (2023). Vulnerabilidad estructural y no estructural. *Sioingeniería* <https://www.sioingenieria.com/portal/novedades/vulnerabilidad-estructural-y-no-estructural>
- Statgraphics. (2015). Centurion XVI.II Novedades y mejoras. *Statgraphics*. <http://www.statgraphics.net/centurion-xvi-ii-novedades-y-mejoras/>
- Tucto, J. (2018). *Evaluación del riesgo sísmico utilizando el índice de vulnerabilidad de Benedetti - Petrini en las viviendas de adobe existentes en la zona urbana del distrito de Llacanora, Cajamarca*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2526>
- Yeager, C. & Steiger, T. (2013). Applied geography in a digital age: The case for mixed methods. *Applied Geography*, 39, 1-4.