

Vulnerabilidad global en el Curso Alto del río Lerma por peligro sísmico. Estado de México, México

Global vulnerability in the upper course of the Lerma river due to seismic hazard. State of Mexico, Mexico

MARÍA DEL CARMEN GONZÁLEZ DÍAZ¹  0009-0000-3583-9402

ALEXIS ORDAZ HERNÁNDEZ¹  0000-0002-6788-650X

LUIS MIGUEL ESPINOSA RODRÍGUEZ¹  0000-0002-9545-400X

ROBERTO FRANCO PLATA¹  0000-0002-3031-6562

¹Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México

Resumen

El 19 de septiembre de 2017 ocurrió un sismo de magnitud de 7.1 que dejó daños en la infraestructura de varios municipios del sur del Estado de México. El acontecimiento mostró la fragilidad y exposición de la población a los desastres. En atención a este antecedente, el presente trabajo tiene como objetivo el análisis de la vulnerabilidad frente a sismos en los municipios del curso Alto del Río Lerma.

La investigación se desarrolla mediante el empleo de (1) la aplicación de un sistema de puntuación para determinar la vulnerabilidad estructural que valora la altura, edad, tipo de edificio entre otros indicadores; (2) se utiliza el método de componentes principales, para la determinación de la vulnerabilidad económica y social, y (3) el análisis Jerárquico de SAATY para unificar las tres vulnerabilidades.

La secuencia metodológica descrita, permitió obtener la cartografía de vulnerabilidad Global. El análisis de la cartografía final, refleja que 1,325 manzanas (54.2%) presentan vulnerabilidad global alta, caracterizadas por una edad de construcciones en su mayoría superior a 50 años. Además, se identificaron 974 manzanas (39.9%) con vulnerabilidad media y 142 manzanas (5.8%) con vulnerabilidad baja, estas últimas ubicadas en municipio de Calimaya.

Palabras clave: sismos; vulnerabilidad global; estructural; social y económica.

Fechas • Dates

Recibido: 2023.06.16
Aceptado: 2023.12.05
Publicado: 2024.09.23

Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Alexis Ordaz Hernández
aordazh@uaemex.mx

Abstract

On September 19th, 2017, a seism, of 7.1 magnitude, took place in Mexico. Due to this seism there are some infraestructural damages in some municipalities in the south of State of Mexico. The event showed the vulnerability and exposure of the population to disasters. In response to this background, the present work aims at analysing the vulnerability to earthquakes in the municipalities of the upper course of Lerma river.

The research is developed using (1) the application of a scoring system to determine the structural vulnerability that values the height, age, type of building among other indicators; (2) the principal components method is used to determine economic and social vulnerability, and (3) the SAATY Hierarchical analysis to unify the three vulnerabilities.

The methodological sequence described allowed to obtain the global vulnerability of the cartography. The final analysis of the cartography showed 1 325 blocks (52.2%) with high global vulnerability, which are characterized by a construction age, higher than 50 years in its majority. Although it was identified that 974 (39.9%) blocks had a standard vulnerability and 142 (5.8%) blocks had a low vulnerability, the last ones were localized in Calimaya municipality.

Keywords: earthquakes; global; structural; social and economic vulnerability.

1. Introducción

La reducción del riesgo de desastre es el proceso por el cual a través del estudio de los componentes de riesgo se proponen medidas de mitigación y reducción de la exposición a las amenazas, e incide sobre las variables que componen la vulnerabilidad de una comunidad (Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, 2021).

Montz, Tobin y Hagelman (2017) definen la vulnerabilidad como “el grado de pérdida de cada elemento en caso de que ocurra un peligro”; mientras que para Peduzzi et al. (2002) es “la probabilidad de que una comunidad, estructura, servicio o área geográfica resulte dañada por el impacto de un peligro en particular”, esta última definición quizás se considere más acorde a la teórica actual. Las definiciones de vulnerabilidad, son variadas (Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator, 1979; Prasetyoa et al. 2002 y Díaz-Caravantes, 2018); sin embargo, coinciden en la probabilidad de que ocurra un evento amenazante y que este impacte la actividad humana o su infraestructura.

Algunos estudios realizados por Preciado et al. (2015); Ruiz-Sibaja et al. (2019); Sánchez-Calvillo, Alonso-Guzmán y López-Nuñez (2021); y Sánchez-Calvillo (2022), se enfocan en el estudio de la vulnerabilidad atendiendo a las características físicas del tipo de construcción. Mientras que las investigaciones realizadas por García-Castro y Villerías-Salinas (2017); Flores, Escudero y Zamora-Camacho (2021); y Macías-Serrat (2022) se centran en las condiciones sociales y económicas que hacen vulnerable a las comunidades ante peligro sísmico.

El sismo ocurrido el 19 de septiembre del 2017, de 7.1 grados en la escala de Richter y localizado a 12 km al sureste de Axochiapan, Morelos (Servicio Sismológico Nacional, 2017), mostró la fragilidad de los municipios del Estado de México ante el peligro sísmico. Este evento provocó en la entidad mexiquense doce muertos, 34 lesionados, 35 escuelas dañadas, más de 70 casas afectadas, caída de bardas, derrumbes y hundimientos (Salinas et al. 2017). Probablemente, episodios como el descrito puedan evitarse o mitigarse, con el análisis de las diversas variables que componen la

vulnerabilidad, y con investigaciones que concluyan proponiendo rutas de trabajo bien definidas para mitigar o reducir el riesgo.

En concordancia con lo expuesto, el presente trabajo analizó la vulnerabilidad estructural, social y económica para 12 municipios del curso alto del río Lerma. La investigación se justifica atendiendo a la actividad sísmica recurrente en el país. Según el catálogo del Servicio Sismológico Nacional de México (SSN, 2023), de 1 de enero del 1980 al 1 de enero de 2023, se reportaron 163 terremotos con magnitudes entre 6.0 y 8.2 grados en la escala de Richter, para el país. El escenario de peligro sísmico se complejiza con la presencia del Sistema de Fallas Tenango (dentro del área de estudio), considerado activo desde punto de vista sísmico de acuerdo a investigaciones de Yamamoto y Mota (1988); García-Palomo, Macías y Garduño (2000) y Norini *et al.* (2006).

2. Metodología

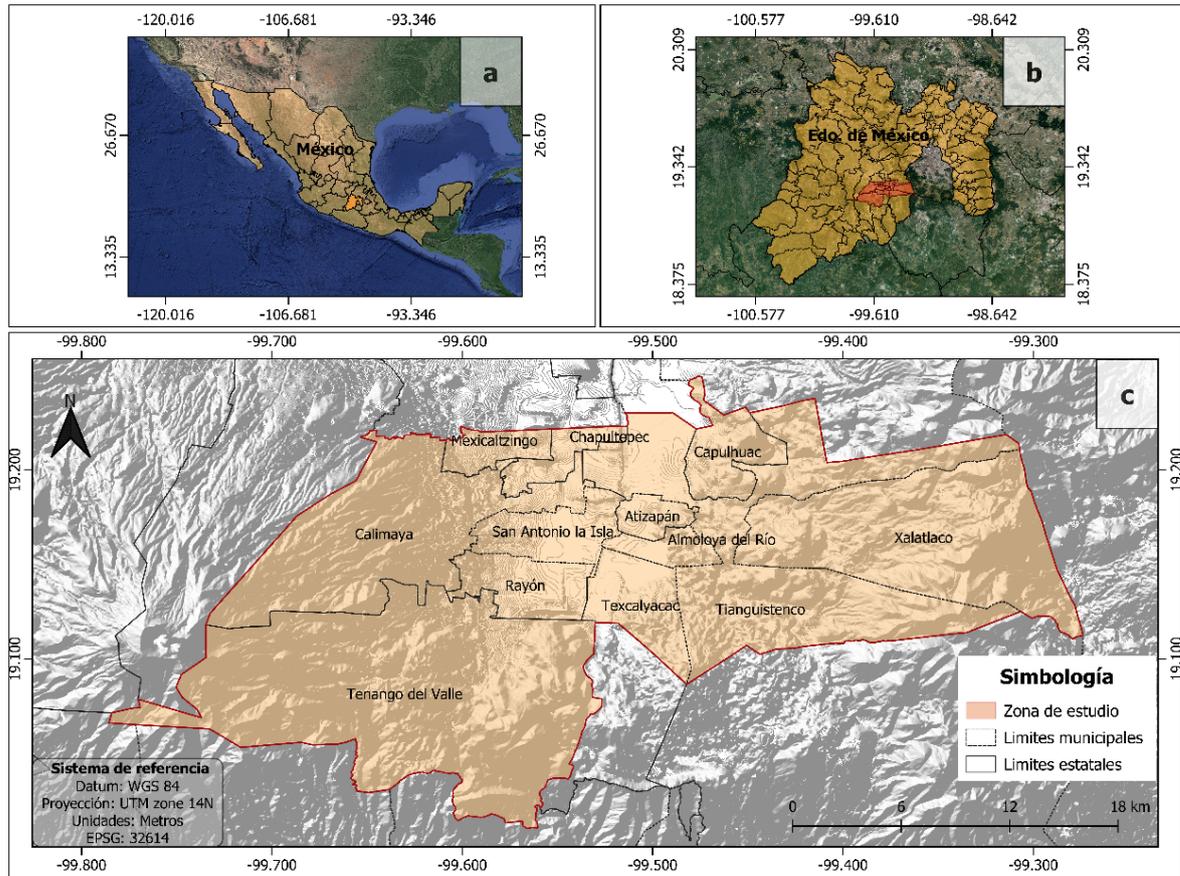
2.1. Caracterización del área de estudio

La zona de estudio se ubica al sur y sureste del Estado de México, y comprende doce municipios del curso alto del río Lerma: Almoloya del Río, Atizapán, Calimaya, Capulhuac, Chapultepec, Mexicaltzingo, Rayón, San Antonio la Isla, Tenango del Valle, Texcalyacac, Tianguistenco y Xalatlaco (figura 1), en su conjunto cubren 691.95 Km². De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2021) residen 403,810 personas. En cada municipio concurren espacios rurales y urbanos en diferentes proporciones como refleja la tabla 1.

La infraestructura del curso alto del río Lerma, se ha desarrollado sobre un corte estratigráfico caracterizado por la presencia de:

1. Materiales correspondientes al sector centro-este de la faja volcánica transmexicana y en particular generados por la actividad volcánica del Nevado de Toluca, la inspección visual a la cartografía publicada por el Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Estado de México (2017), revela la presencia en la parte más superficial (primeros 100 m) de basaltos, andesitas, cenizas volcánicas, pómez, lahares y material piroclásticos. Por su ubicación espacial y posición en el corte, concuerdan con las últimas etapas del vulcanismo del Nevado de Toluca (aproximadamente entre 60 000 años y 36 000 años atrás) descritas por Vázquez y Heine (2002) y Aceves *et al.* (2006).
2. Sobreyaciendo las litologías volcánicas descritas, en los últimos 11,700 años, se han acumulado depósitos de origen aluvial y lacustres, representados especialmente por gravas, arenas y limos.

Figura 1. Localización geográfica del Curso Alto del río Lerma, Estado de México, México.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Rasgos territoriales generales de la zona de estudio.

Municipios	Población total	Área rural			Área urbana		
		Superficie (Km ²)	Cantidad de Manzanas	Densidad poblacional (hab/km ²)	Superficie (Km ²)	Cantidad de Manzanas	Densidad poblacional (hab/km ²)
Almoloya del Río	12,694	7.16	15	265.6	2.30	97	4,692.2
Atizapán	12,984	5.50	13	438.4	2.96	97	3,572
Calimaya	68,489	95.11	275	197.3	9.15	417	5,434.8
Capulhuac	36,921	14.00	36	358.4	7.49	277	4,259.5
Chapultepec	12,772	9.11	18	231.5	2.40	110	4,442.9
Mexicaltzingo	13,807	9.11	13	324.1	2.63	71	4,127
Rayón	15,972	21.09	25	60.1	1.85	123	7,948.6
San Antonio la Isla	31,962	20.48	22	99.1	2.84	278	10,539.8
Tenango del Valle	90,518	207.51	141	82.1	3.57	688	20,581.5
Texcalyacac	57,36	10.42	0	0	15.02	57	381.9
Tianguistenco	84,259	130.12	330	217.1	1.70	440	32,946.5
Xalatlaco	30,687	96.79	77	140.2	13.64	128	1,255.2

Fuente: Censo de población y vivienda de INEGI (2021).

El análisis detallado de los tipos litológicos enunciados, la verificación de su disposición espacial en los cortes estratigráficos propuestos en la carta publicada por IFOMEGEM (2017) y estudios recientes realizados por Sánchez (2020); apuntan a una alta susceptibilidad sísmica (amplificación local de ondas sísmicas) de al menos los materiales de origen aluvial y lacustre; así como también de las cenizas volcánicas y los horizontes de pómez. Este contexto, se agrava con el escenario de peligro sísmico descrito en la introducción de este trabajo, y con las condiciones tectónicas locales complejizadas con el sistema de fallas Tenango expuestas en Norini et al. (2006) y Olivares-Sánchez et al. (2020). Las características demográficas y geológicas descritas en este apartado, reafirman la necesidad del análisis de la vulnerabilidad ante el riesgo sísmico en el curso alto del río Lerma.

2.1. Materiales y métodos

La temática se ubica dentro de la geografía de los riesgos, y la propuesta metodológica considera, no solo el enfoque ingenieril desde las llamadas “Ciencias Duras”. En este caso de estudio se pretende incorporar la dimensión social. En los trabajos de Cardona (2001) y Barrantes y Márquez (2011) se realizan profundas discusiones académicas de la integración disciplinar para alcanzar estudios robustos en el análisis del riesgo. En función del objetivo planteado, el trabajo se enfocaría en determinar el índice de vulnerabilidad estructural, social y económica para doce municipios del curso alto del río Lerma. Se intenta realizar una contribución a la reducción del riesgo de desastres, en un contexto geográfico no estudiado desde la perspectiva mencionada. El esquema representado en la figura 2, marca los principales pasos sugeridos para alcanzar el objetivo.

Figura 2. Enfoque ingenieril y social, como aporte a la determinación de un índice de vulnerabilidad global ante sismos.



Fuente: Elaboración propia.

2.1.1. Susceptibilidad sísmica

La cartografía de la susceptibilidad sísmica, entendida como la predisposición a amplificar las ondas en función de la geología local, se empleará en este caso para acotar el área de trabajo, es decir, enfocar los esfuerzos en los sitios que clasificarían con susceptibilidad sísmica alta. Partiendo de la hipótesis, que la mayor parte de daños se concentrarían en la infraestructura construida sobre los sedimentos menos densos (efecto de sitio). El análisis de la susceptibilidad sísmica se realizó considerando las propiedades geotécnicas de los tipos litológicos que afloran en el área de estudio (tabla 2). Se emplea el método de analogías ingeniero-geológicas (aplicado en Astroza y Monge 1991 y Ordaz-Hernández 2015, entre otros). Para el caso de estudio del curso alto del río Lerma, se tendría en consideración, (1) la respuesta frente a sismos que han tenido similares litologías en el contexto de México y América Central y (2) estudios de respuesta sísmica local realizados en igual contexto geográfico (Chávez-García et al. 1994, Bommer et al. 1998, Barquero 2009,

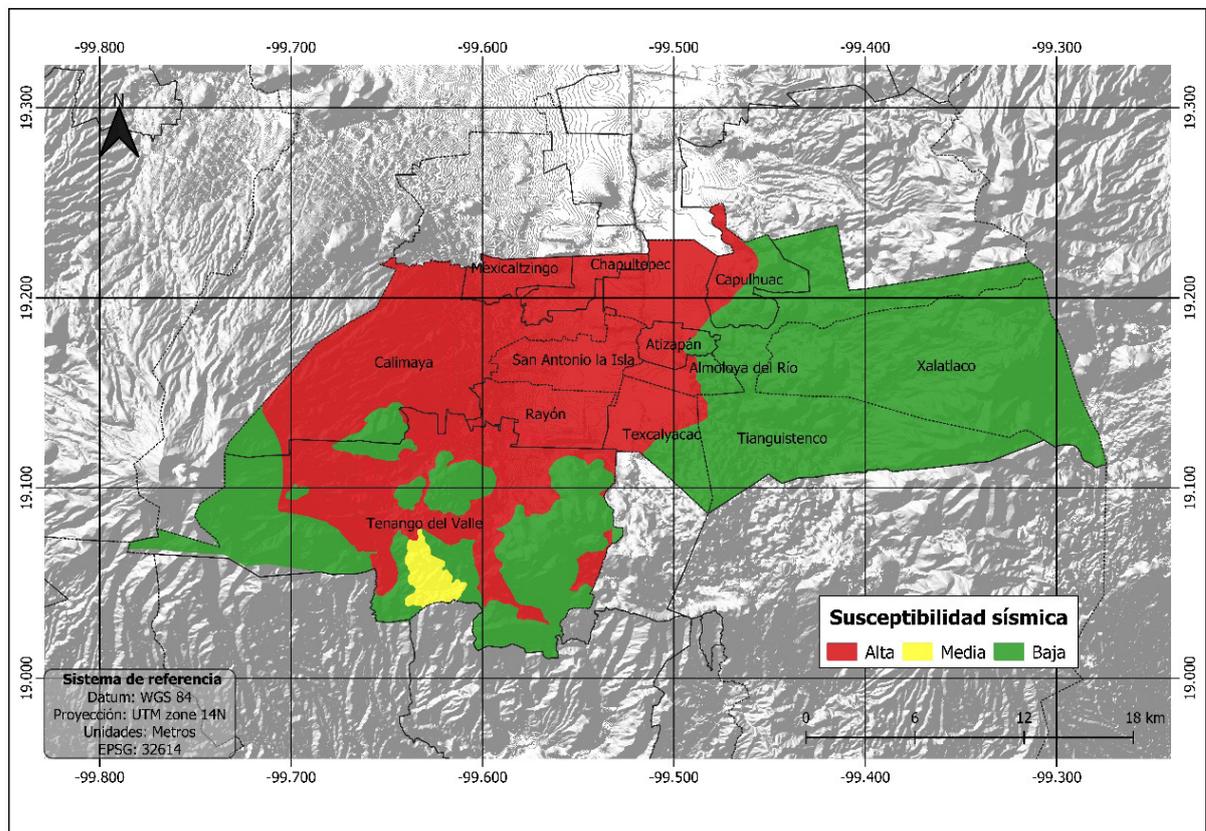
Sánchez 2020 y Castrillo-Osorio, 2021) esperándose que mantengan similar comportamiento en futuros sismos (figura 3). La disposición espacial de los tipos litológicos se vectorizó tomando como base la propuesta de Olivares-Sánchez *et al.* (2020), siendo el trabajo más actualizado y de mejor detalle (escala 1: 50 000) para el área de trabajo.

Tabla 2. Descripción geotécnica de los materiales geológicos y susceptibilidad sísmica.

Material estratigráfico	Ondas de corte Vs. m/s	Contenido de agua %	Número de golpes del SPT	Densidad g/cm ³	Susceptibilidad Sísmica
Gravas, Arenas y Limos (Aluvión)	205 - 230 ^e	10 - 26 ^e	23 - 35 ^e	1.60 - 1.90 ^e	Alta
Basalto	1153 ^a	-	-	2.7 - 2.9 ^b	Baja
Andesita	556 ^a	-	-	2.2 - 2.35 ^b	Baja
Intercalaciones de Limo, Arcilla, Ceniza y Horizontes de Pómez (Lacustre)	207 - 298 ^a	8 - 30% ^a	16 ^e	1.71 ^e	Alta
Lahar y material piroclástico	470-500 ^d	90.74 ^c	-	2.1 ^e	Media

Fuente: ^a Valores propuestos en Álvarez-Manilla *et al.* (2017), ^b Valores propuestos en González *et al.* (2002), ^c Valores propuestos en Mora (1998), ^d Valores propuestos en Vargas *et al.* (2009) y ^e Valores propuestos en Sánchez (2020).

Figura 3. Mapa de susceptibilidad sísmica para la geología superficial del Curso Alto del Río Lerma.



Fuente: Elaboración propia.

2.1.2. Índice de Vulnerabilidad Global

El análisis de vulnerabilidad se enfocará en las áreas urbanas que arrojaron un nivel de susceptibilidad sísmica alto. Se aplicará el concepto de vulnerabilidad global, propuesto por Wilches-Chaux (1989 y 1993), y que posteriormente Fernández (2017) complementa al proponer diversos indicadores que permitirían medir cada una de las vulnerabilidades implicadas. Con la base teórica contenida en los citados trabajos, para este caso de estudio, el índice de vulnerabilidad global se direcciona a la integración de tres tipos de vulnerabilidades de acuerdo a la ecuación 1.

$$V_{\text{Global}} = V_{\text{Estructural}} + V_{\text{Social}} + V_{\text{Económica}} \quad \text{Ecuación 1}$$

El índice de vulnerabilidad global propuesto en Fernández (2017), da la flexibilidad de incorporar los tipos de vulnerabilidades que más se ajusten a la realidad física y social de los territorios. Para este estudio, se consideraron las vulnerabilidades estructural, social y económica; la integración se logra por medio del análisis jerárquico propuesto por Saaty (1980), definido como:

Un procedimiento de comparación por pares de las variables en estudio que, por medio de una matriz cuadrada, en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de variables a ponderar para determinar el eigenvector principal, el cual establece los pesos de cada variable y proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores. (Ramírez 2004, p.1)

Tomando en cuenta que, la vulnerabilidad es una variable constante a lo largo de un tiempo indefinido, se le asigna la mayor importancia a la vulnerabilidad estructural (tabla 3). La tabla 3 representa los criterios bajo los cuales se compararán las variables y el valor que se le atribuye. Mientras que la tabla 4 muestra los valores de las comparaciones entre variables, mismos que son empleados para obtener los pesos promedios (tabla 5).

Tabla 3. Escala fundamental de comparación por pares de Saaty.

Valor	Definición	Comentarios
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente el criterio A sobre B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Impotencia extrema	La mayor importancia de A sobre B está fuera de toda duda

Fuente: Saaty (1980).

Tabla 4. Asignación del valor de la comparación por pares con base en Saaty.

No.	Variables	Vulnerabilidad Estructural	Vulnerabilidad Económica	Vulnerabilidad Social
1	Vulnerabilidad Estructural	1	5	7
2	Vulnerabilidad Económica	1/5=0.20	1	3
3	Vulnerabilidad Social	1/7= 0.142	1/3=0.333	1
	SUMA	1.342	6.333	11

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Obtención de los pesos promedios a partir de la proporción de la matriz de valor.

No.	VARIABLES	Vulnerabilidad Estructural	Vulnerabilidad Económica	Vulnerabilidad Social	Promedio (Pesos)
1	Vulnerabilidad Estructural	1/1.342=0.744	5/6.333=0.789	7/11=0.636	0.723
2	Vulnerabilidad Económica	0.20/1.342=0.149	1/6.333=0.157	3/11=0.272	0.193
3	Vulnerabilidad Social	0.142/1.342=0.106	0.333/6.333=0.052	1/11=0.090	0.083
				TOTAL	1.0000

Fuente: Elaboración propia.

La validación de los pesos promedios se obtiene con el índice de consistencia (CI) y la razón de consistencia (CR) propuestos por Yepes (2022) (ecuaciones 2 y 3).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde, λ_{max} es el máximo autovalor y n es la dimensión de la matriz de decisión.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde, RI es el *índice aleatorio* valor calculado a partir de un gran número de matrices recíprocas positivas de orden n generadas aleatoriamente. El máximo autovalor solicitado en la ecuación 2 es de 3.0658, aplicando esta misma ecuación, se obtiene un índice de consistencia (CI) de 0.0329.

Posteriormente, se determina la razón de consistencia (CR) (ecuación 3), para lo cual se determina el índice aleatorio, que de acuerdo al procedimiento de Saaty aplicado en este trabajo, es de 0.58 para tres variables ($CR=0.0329/0.58=0.0567$). Yepes (2022) define que, el valor máximo del radio de consistencia debe de ser el 5% de 3 (número de variables). Entonces, el valor máximo del radio de consistencia es 0.15, por lo tanto, el valor obtenido en la fórmula CR debe de ser menor o igual a este valor. Mientras que, el valor de la razón de consistencia se acerque al 0 absoluto, sería más aceptable. De este modo, el valor obtenido de CR (0.0567) valida el proceso de determinación de valores.

Con los pesos obtenidos y adecuadamente validados, se procede a su incorporación en una plataforma de sistema de información geográfica. Como se mencionó anteriormente, para este caso de estudio, se integrarán tres tipos de vulnerabilidades (1) vulnerabilidad estructural, (2) social y (3) económica. En los subacápites posteriores, se explica en detalle los indicadores empleados para obtener cada una de las vulnerabilidades, que finalmente culminan con la obtención de valores únicos para cada manzana (unidad básica de información).

2.1.3. Vulnerabilidad Estructural

Para el desarrollo del índice de vulnerabilidad estructural se tomaron en cuenta cinco indicadores: (1) tipo de edificio o tipología de la construcción, (2) edad de construcción, (3) altura, (4) potencial de licuefacción y (5) pendiente del terreno; los indicadores (4) y (5) generalmente son conocidos como factores de cimentación.

Para clasificar las manzanas de acuerdo con su tipología (indicador 1) se utilizaron las “áreas homogéneas” en formato vector que ofrece el Instituto de Información e Investigación, Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México. Los polígonos (áreas homogéneas) tienen asignado como única información el tipo de estructura predominante, a esta información se le incorporó la descripción de la tipología de construcción, descrita en la Gaceta del Gobierno del Estado de México (Gobierno del Estado de México, 2009). De esta forma, y para el caso en específico de las manzanas desarrolladas sobre el nivel de susceptibilidad sísmica alta en el curso alto del río Lerma, se identifican doce tipologías de construcción (tabla 6).

Los valores aplicados en las tablas 6 y 7 se asignaron de acuerdo a la propuesta de Chang et al. (1995). El trabajo de Chang y colectivo de autores, se soporta en el análisis de dos indicadores “factor estructural” y “factor de cimentación” a los cuales les asignaron un sistema de puntuación basado en la inspección visual de los edificios, considerado este un método cualitativo por el Área de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Coordinación del Socorro en Casos de Desastre de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2004). El factor estructural propuesto por Chang et al. (1995) se intenta aplicar en el presente caso de estudio (curso alto del río Lerma), a través del análisis de la tipología de la construcción, su edad y altura. Y el factor de cimentación es abordado a través de los indicadores potencial de licuefacción (tabla 9) y pendiente del terreno (tabla 10).

La incorporación de cada tipología a un nivel de vulnerabilidad en específico (baja, media o alta), se ajusta a las descripciones contenidas en la Gaceta del Gobierno del Estado de México y a las afectaciones frente a sismos que han presentado estructuras similares en México y muy particularmente en los municipios de Tenancingo y Tenango durante el terremoto de magnitud 7.1 con epicentro en el Estado de Puebla el 19 de septiembre del 2017.

Tabla 6. Niveles de vulnerabilidad por tipo de edificio.

Tipo de edificación	Niveles de Vulnerabilidad por Tipo de Estructuras		
	Baja	Media	Alta
H1			20
H2			20
H3			20
H4	1		
H5	1		
A1, A2 y A4			20
E1		10	
L1	1		
C2	1		
I2	1		

Fuente: Elaboración propia con base en las propuestas de Chang et al. (1995) y Ordaz-Hernández et al. (2020).

El segundo indicador, se relaciona a la edad de la construcción, se asumen los criterios contenidos en las Normas Técnicas Complementarias (NTC) para Diseño y Construcción de Estructuras en México, donde se sugiere que la vida útil de una construcción se ubicaría dentro de los 50 años (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural A. C., 2021) (tabla 7).

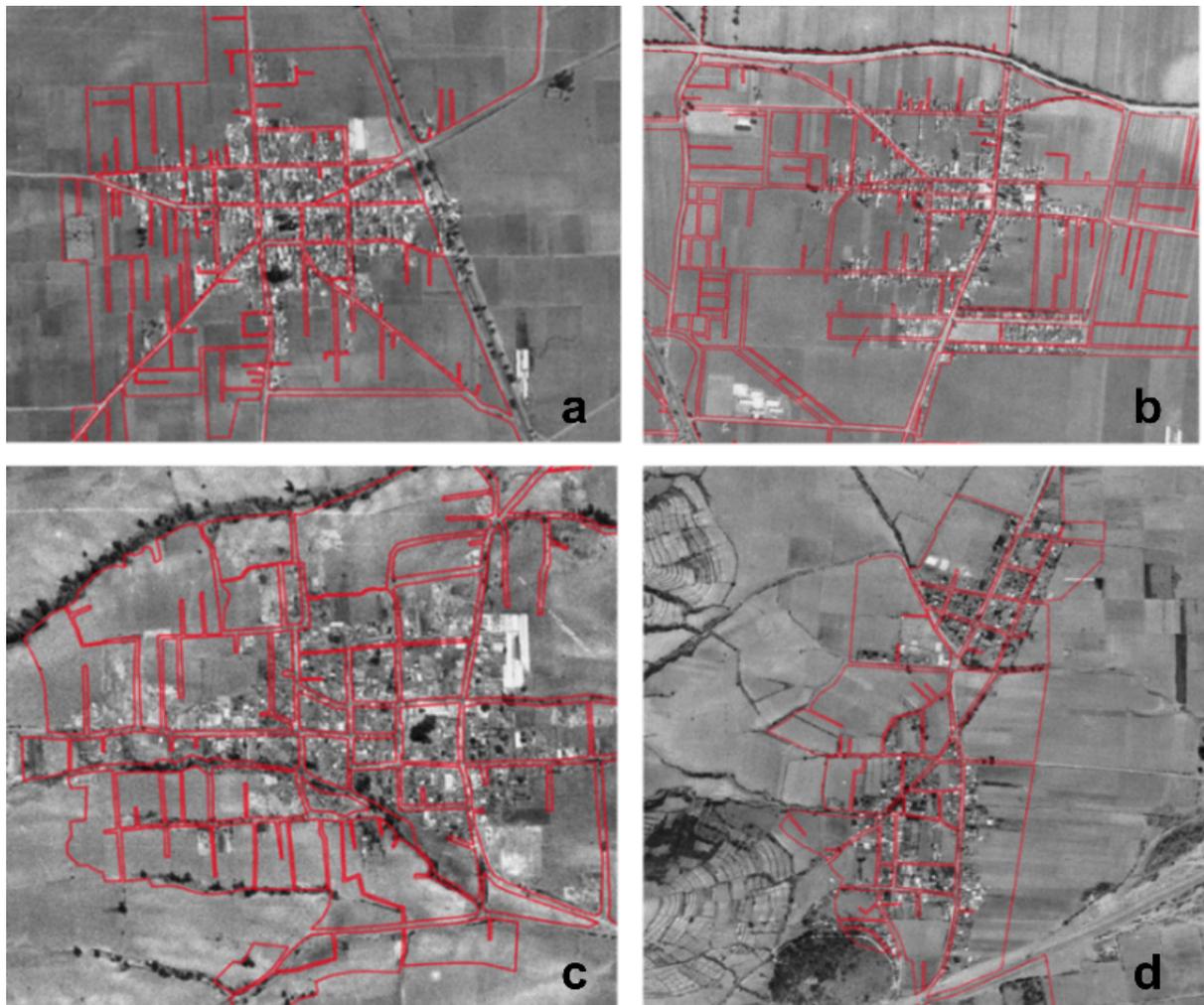
Tabla 7. Ponderación por vida útil de la construcción.

Vida útil	Nivel de vulnerabilidad		
	Baja	Media	Alta
1 a 25 años	1		
25 a 50 años		5	
>50 años			20

Fuente: Chang et al. (1995) y SMIE (2021).

Para aplicar el indicador edad de la construcción, fue necesario cartografiar el desarrollo constructivo en los tres intervalos de tiempo plasmados en la tabla 7. Para lograr el objetivo, se vectorizaron los polígonos empleando como base once fotografías aéreas correspondiente al año 1976 a escala 1:50 000 (figura 4) e imágenes Google Earth Pro para los dos intervalos más recientes.

Figura 4. Ejemplo para cuatro localidades. Superposición del shape de manzanas sobre fotografías aéreas del año 1976



Leyenda: El shp de manzanas es el actual (líneas en rojo) y las localidades son a) San Andrés Ocotlán, b) Santiaguillo Cuautenco, c) San Lorenzo Cuauhtenco y d) San Francisco Putla, pertenecientes al Curso Alto del Río Lerma.

El tercer indicador corresponde a la altura de las construcciones. Es una característica que puede aportar información sobre la posible ocurrencia del fenómeno de resonancia, que ocurre cuando

la construcción y el suelo oscilan de forma sincronizada (tienen periodos similares). Al ocurrir la coincidencia descrita, se genera el mayor número de daños. Un volumen importante de trabajos se ha enfocado a estudiar este fenómeno, entre ellos Takewaki *et al.* (2011); Stankoa *et al.* (2017) y Markušić *et al.* (2020). Para la aplicación de este indicador se emplearon los valores de periodo dominante del suelo (T) estimados para la zona metropolitana del Valle de Toluca por Sánchez (2020). Parte del área estudiada por Sánchez coincide espacialmente con los sitios estudiados en el curso alto del río Lerma (tabla 8).

Tabla 8. Vulnerabilidad por resonancia natural según la altura de las construcciones y el periodo dominante del suelo.

Material litológico	Periodo dominante del suelo (Ts)	Altura de las construcciones (número de pisos)	Periodo de vibración de las construcciones (Tc)	Nivel de vulnerabilidad	
				Baja (1)	Alta (5)
Gravas, Arenas y Limos	1 a 1.5	1 piso	0.30	1	-
		2 pisos	0.35	1	-
		3 pisos	0.44	1	-
Intercalaciones de Limo, Arcilla, Ceniza	1 a 1.5	1 piso	0.30	1	-
		2 pisos	0.35	1	-
		3 pisos	0.44	1	-
Pómez	0.5 a 1	1 piso	0.30	1	-
		2 pisos	0.35	1	-
		3 pisos	0.44	1	-
Flujos piroclásticos	0 a 0.5	1 piso	0.30	-	5
		2 pisos	0.35	-	5
		3 pisos	0.44	-	5

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Preciado, *et al.* (2017) y Sánchez (2020).

Según Peña (2018) la ocurrencia de licuefacción (cuarto indicador), generalmente se presenta en suelos recientes y poco compactados, como es el caso de los suelos de génesis fluvial y con predominio en la fracción arenosa. Bajo este criterio se elabora la tabla 9 que incluye los diferentes materiales estratigráficos que afloran en el área.

Tabla 9. Ponderación del potencial de licuefacción.

Material estratigráfico	Potencial de Licuefacción		
	Bajo (1)	Medio (5)	Alto (10)
Pómez	1		
Limo, Arcilla, Ceniza		5	
Gravas y Arenas			10

Fuente: Chang *et al.* (1995) y Peña (2018).

Finalmente, el último indicador relacionado con la vulnerabilidad estructural en este caso de estudio, es la pendiente del terreno. Grases (2014) da una perspectiva de la normativa de otros países sobre la pendiente y su relación con la amplificación de las ondas sísmicas:

El Reglamento colombiano NSR-10, en su acápite H.7.1.3 y subsección d se refiere a posibles efectos de triple resonancia. Señala que estos efectos pueden ser relevantes cuando las pendientes

exceden el 10%. En el Capítulo 5.33 de la Norma Francesa (AFPS 90) se trata con cierto nivel de detalle el tema de la amplificación topográfica debido a fuertes cambios de pendiente en el terreno (p.63).

Atendiendo a la experiencia acumulada para la consideración del indicador pendiente, se proponen subdividir el área en tres rangos de pendiente (<5, entre 5 y 10 y >10 en %) (tabla 10).

Tabla 10. Clasificación de vulnerabilidad por el porcentaje de pendiente.

	Ponderación de la vulnerabilidad		
	Baja (1)	Media (5)	Alta (10)
Pendiente (%)	<5	5 a 10	>10

Fuente: Chang et al. (1995) y Grases (2014).

Los valores de ponderación de cada indicador se incluyeron como atributos en columnas independientes dentro de la capa manzanas, se suman los valores y se clasificaron de acuerdo a la tabla 11.

Tabla 11. Ponderación total para la vulnerabilidad estructural.

Indicadores	Nivel de Vulnerabilidad Estructural		
	Bajo	Medio	Alto
Factor Estructural			
Tipo de edificio	1	10	20
(2) Edad de Construcción	1	10	20
(3) Altura (cantidad de pisos)	1	-	5
Factor de cimentación	Bajo	Medio	Alto
(4) Potencial de licuefacción	1	5	10
(5) Pendiente del terreno	1	5	10
Total	1 a 5	6 a 30	31 a 65

Fuente: Chang et al. (1995).

2.1.4. Vulnerabilidad social y económica

Para el desarrollo de los índices de vulnerabilidad social y económica se empleó la técnica de Componentes Principales, este método hace una reducción de dimensiones de la tabla de datos, mediante el cálculo de variables generando combinaciones lineales de las variables originales (Vicente et al. 2019). Se emplea la información del Censo de Población y Vivienda del año 2020, y los indicadores para vulnerabilidad social y vulnerabilidad económica propuestos por Fernández (2017) (tablas 12).

Tabla 12. Indicadores de vulnerabilidad social y económica.

Vulnerabilidad social		Vulnerabilidad económica	
No.	Indicador	No.	Indicador
1	Población menor a 14 años	1	Población dependiente (<14 años y >65 años)
2	Población mayor de 65 años	2	Grado promedio de escolaridad
3	Relación niños(as) por mil mujeres	3	Población económicamente inactiva
4	Población con discapacidad	4	Viviendas con piso de tierra
5	Población con limitación	5	Viviendas no disponen de energía eléctrica
6	Promedio de personas por hogar	6	Viviendas que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda
7	Promedio de viviendas sin radio ni televisor	7	Viviendas que no disponen de drenaje
8	Promedio de viviendas línea telefónica fija ni teléfono celular	8	Viviendas que no disponen de energía eléctrica, agua entubada, ni drenaje
		9	Viviendas sin ningún bien.
		10	Viviendas sin tecnologías de la información y de la comunicación.

Fuente: Fernández (2017).

La validación se realizó considerando la varianza total arrojada por el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), donde el porcentaje acumulado debe ser superior al 50%, y de esta forma la información y selección de indicadores se consideraría correcta. El valor obtenido para los indicadores que sustentan la vulnerabilidad social fue del 68.8% (tabla 13), y del 71.9% para la vulnerabilidad económica (tabla 14), con ello se validan los indicadores seleccionados. Para la clasificación en rangos de vulnerabilidad social y económica se utilizó el método de Dalenius y Hodges (1959), obteniéndose tres rangos de vulnerabilidad con valores de 1 (bajo), 2 (medio) y 3 (alto). Finalmente, la tabla 15 muestra los pesos correspondientes de las variables utilizadas para cuantificar la vulnerabilidad social y económica, los valores más cercanos a “1.0” son los que explican mejor cada índice.

Tabla 13. Varianza total explicada del análisis de componentes principales para los indicadores de vulnerabilidad social.

Componentes	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	3.564	44.550	44.550	3.564	44.550	44.550
2	1.947	24.334	68.884			
3	0.975	12.190	81.073			
4	0.803	10.034	91.107			
5	0.304	3.794	94.902			
6	0.234	2.920	97.822			
7	0.149	1.861	99.683			
8	0.025	0.317	100.000			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Varianza total explicada del análisis de componentes principales para los de vulnerabilidad económica.

Componentes	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	6.283	62.827	62.827	6.283	62.827	62.827
2	0.908	9.079	71.906			
3	0.843	8.428	80.335			
4	0.691	6.914	87.249			
5	0.566	5.662	92.911			
6	0.273	2.728	95.639			
7	0.226	2.259	97.898			
8	0.116	1.160	99.058			
9	0.063	0.631	99.689			
10	0.031	0.311	100.000			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Matriz de componente para los índices de vulnerabilidad social y económica.

Vulnerabilidad social			Vulnerabilidad económica		
No.	Indicadores	Componente	No.	Indicadores	Componente
1	Población menor a 14 años	0.943	1	Población dependiente (<14 años y >65 años)	0.846
2	Población mayor de 65 años	-0.506	2	Grado promedio de escolaridad	-0.555
3	Relación niños(as) por mil mujeres	0.963	3	Población económicamente inactiva	-0.491
4	Población con discapacidad	0.249	4	Viviendas con piso de tierra	0.913
5	Población con limitación	-0.021	5	Viviendas no disponen de energía eléctrica	0.863
6	Promedio de personas por hogar	-0.088	6	Viviendas que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda	0.618
7	Promedio de viviendas sin radio ni televisor	0.830	7	Viviendas que no disponen de drenaje	0.871
8	Promedio de viviendas línea telefónica fija ni teléfono celular	0.856	8	Viviendas que no disponen de energía eléctrica, agua entubada, ni drenaje	0.784
			9	Viviendas sin ningún bien.	0.929
			10	Viviendas sin tecnologías de la información y de la comunicación.	0.906

Fuente: Elaboración propia.

3. Análisis y discusión de resultados

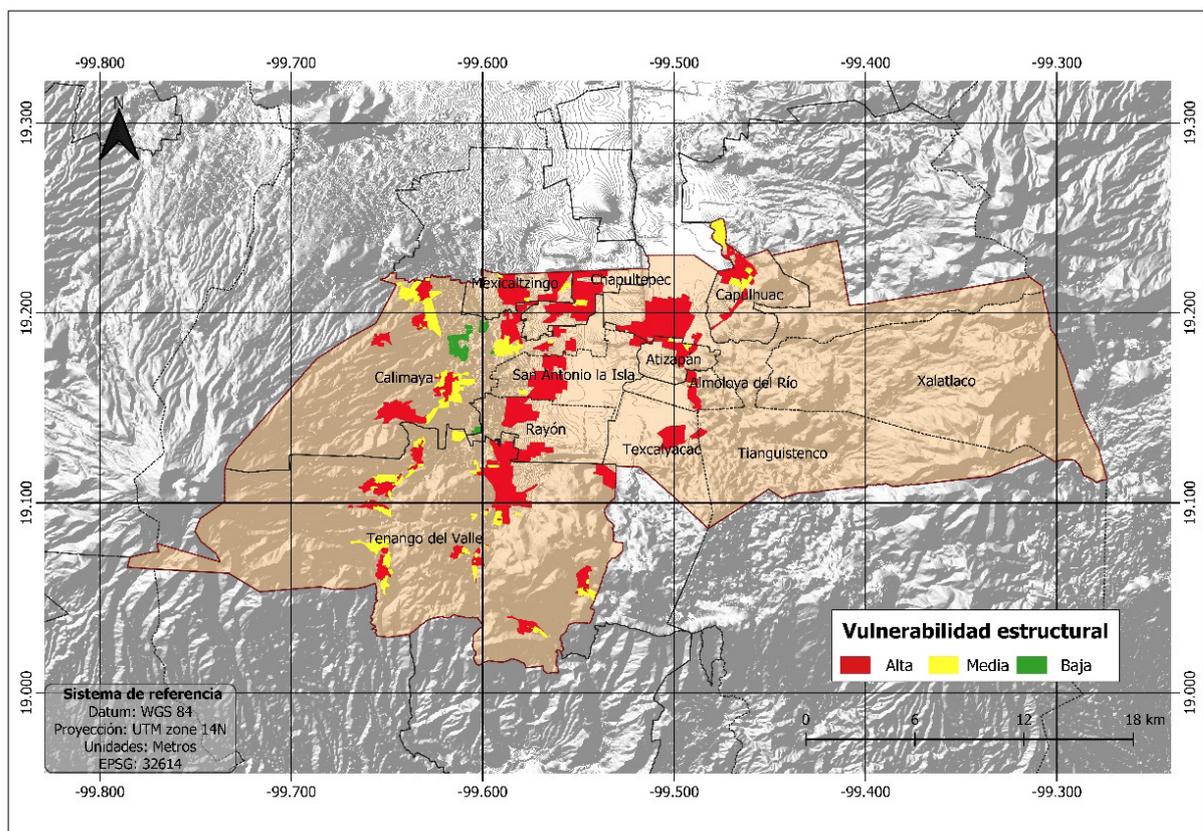
3.1. Cartografía de Vulnerabilidad Estructural

El análisis de la vulnerabilidad estructural para el Curso Alto del Río Lerma, de acuerdo con el diseño metodológico, consideró cinco indicadores, ya explicados previamente. La aplicación a los principales núcleos urbanos, emplazados en la zona de alta susceptibilidad sísmica donde existen 2,441 manzanas, indicó que, el 6.8% corresponden a manzanas de baja vulnerabilidad, el 13.8% a vulnerabilidad media y 79.3% con vulnerabilidad alta (figura 5).

Las características más frecuentes, que condujeron a la clasificación de vulnerabilidad estructural alta en el contexto geográfico estudiado, se centran en construcciones habitacionales H1, H2 y H3, descritas como económicas sin proyecto definido, con materiales económicos, acabados incipientes o viviendas de interés social. También se incluye en la combinación más frecuente, a las construcciones en zonas agrícolas (A1, A2 y A4) definidas como precarias con ejecución de poca calidad, sin proyecto, materiales económicos, con acabados incipientes o sin ellos. En ambos casos, el análisis espacial de la cartografía superpuesta de los indicadores, demuestra una probable predisposición de los suelos a sufrir licuefacción (presencia de arenas y gravas).

La segunda combinación más frecuente, que condujo a la clasificación de 1,936 manzanas en la categoría de alta vulnerabilidad estructural, se refiere al indicador tipología de la construcción, en este caso repitiéndose las tipologías H1, H2, H3, A1, A2 y A4, pero en un contexto de mayor antigüedad de la infraestructura construida (mayor a 50 años).

Figura 5. Vulnerabilidad estructural por manzana en el Curso Alto del Río Lerma.



Fuente: Elaboración propia.

La tabla 16, pone en perspectiva el volumen de elementos expuestos por categoría de vulnerabilidad estructural. Entre las 42 localidades catalogadas con vulnerabilidad estructural alta, se encuentran San Francisco Putla, San Miguel Balderas, Santa María Jajalpa, pertenecientes a Tenango del Valle, Fraccionamiento Valle del Nevado, San Bartolito Tlaltelolco, La Concepción Coatipac (La Conchita) pertenecientes a Calimaya, Colonia Loma Linda del municipio de Almoloya del Río y San Mateo Texcalyacac del municipio de Texcalyacac, entre otras.

Tabla 16. Número de manzanas, localidades, viviendas y población dentro de cada categoría de vulnerabilidad estructural.

Categoría	Manzanas	Localidades	Viviendas	Población
Alta	1,935	42	58,518	190,587
Media	339	31	4,785	17,133
Baja	167	5	2,674	4,904

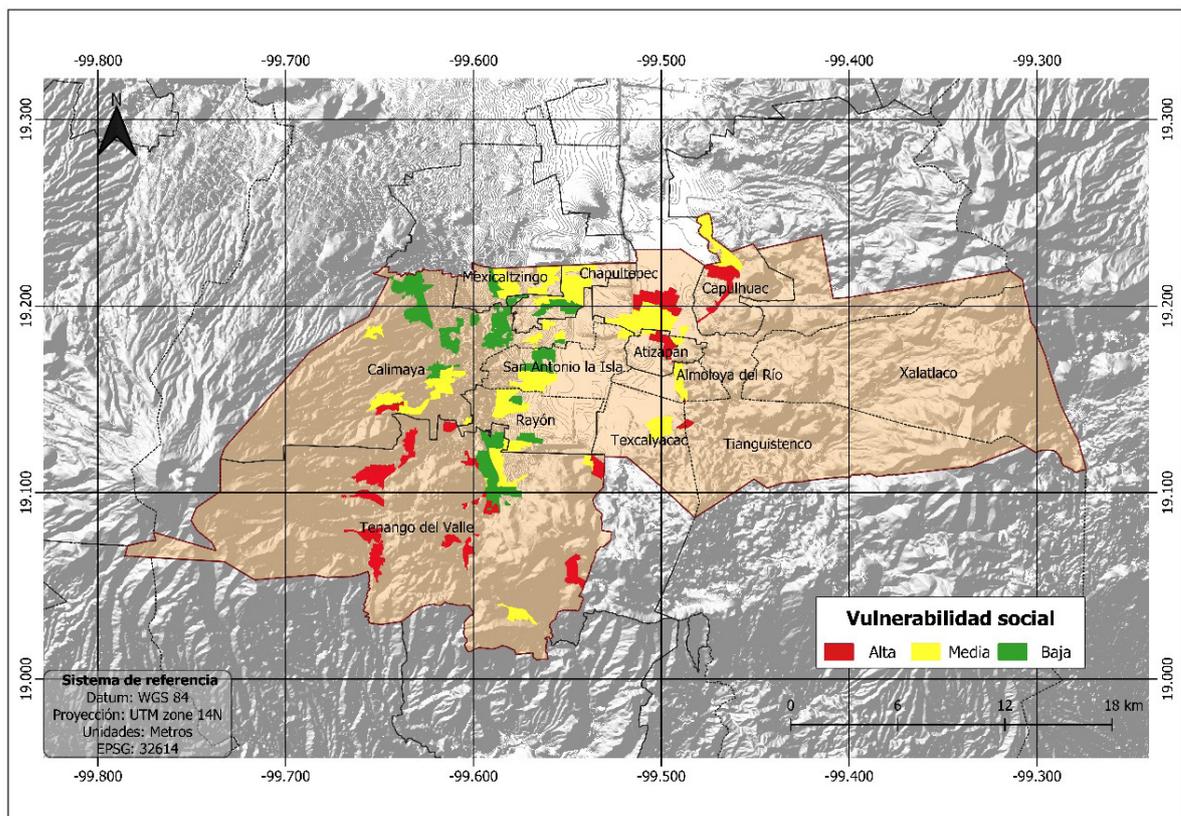
Fuente: Elaboración propia

De las manzanas identificadas con vulnerabilidad estructural alta, 1,752 (71.7%) tienen un uso especialmente habitacional, donde residen 183,236 (86.1%) habitantes y hay construidas 56,511 (85.6%) viviendas. En el contexto de vulnerabilidad estructural descrito, constituyen prioridades en la gestión local del riesgo de acuerdo a la cantidad de habitantes y viviendas, las localidades de San Miguel Balderas, Colonia Cuauhtémoc, Colonia la Remolacha, todas pertenecientes al municipio San Antonio la Isla.

3.2. Cartografía de la Vulnerabilidad Social

La categoría con vulnerabilidad social alta abarca aproximadamente el 22.5% del total de manzanas analizadas, 32.6% de las localidades, el 16.9% de viviendas y probablemente una población de 42,272 habitantes (19.9%). La vulnerabilidad media contiene el 40.7% de manzanas, 36% de localidades, 43.7% de viviendas y 43.3% de habitantes; mientras que, la vulnerabilidad baja abarca el 36.7% de manzanas, 31.4% de localidades, el 39.4% de viviendas y 36.8 % de habitantes (tabla 17).

Figura 6. Vulnerabilidad social por manzana en el Curso Alto del Río Lerma.



Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, las manzanas con vulnerabilidad social alta representan el 22.5% de las 2,441 manzanas estudiadas, en este caso resulta notorio que el 17.4% se encuentran en Tenango del Valle, mientras que el 2.5 % en Tianguistenco, 0.6% en Atizapán y 1.2% en Capulhuac (figura 6). Para el caso de Tenango del Valle, las manzanas con vulnerabilidad social alta se encuentran alejadas de la cabecera municipal ubicada sobre pendientes entre 3 ° y 9 ° y separadas por algunos cerros. En el caso de Atizapán, Capulhuac y Tianguistenco, las manzanas se ubican en la cercanía de áreas naturales protegidas y alejadas también de los centros de los municipios, lo que explica el poco acceso a servicios como radio, televisión y telefonía fija. La vulnerabilidad social baja espacialmente coincide con las cabeceras municipales; mientras que la vulnerabilidad social media, se encuentra en la periferia de los municipios de Tenango del Valle y Rayón. En el caso de Calimaya, San Antonio la Isla, Chapultepec y Mexicaltzingo las manzanas con vulnerabilidad social baja son zonas de casas habitación en algunos casos residenciales, mientras que las manzanas con vulnerabilidad social media se encuentran en las cabeceras municipales (figura 6).

Tabla 17. Número de manzanas, localidades, viviendas y población dentro de cada categoría de vulnerabilidad social.

Categoría	Manzanas	Localidades	Viviendas	Población
Alta	550	28	11,158	42,272
Media	994	31	28,817	92,083
Baja	897	27	26,002	78,269

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Cartografía de Vulnerabilidad económica

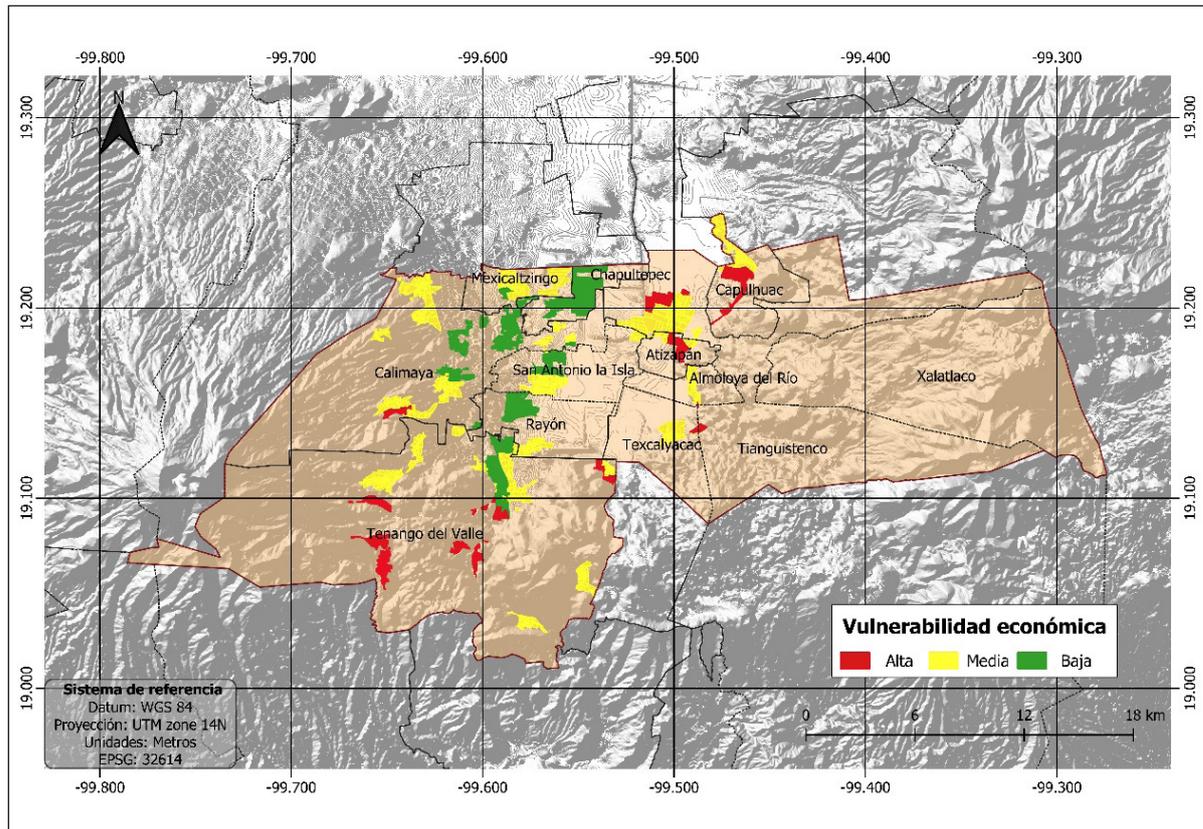
Los diez indicadores analizados (tabla 12), arrojaron que el 10.6% de las manzanas se encuentran en condiciones de vulnerabilidad económica alta. Especialmente, se ubican en municipios como Tenango del Valle (7.25% de las manzanas), donde algunas de las localidades están conformadas en parte por población indígena, por ejemplo, la comunidad nahua de San Pedro Tlanixco (Jiménez-Flores, 2021). El resto de las manzanas con vulnerabilidad económica alta, se encuentran en los municipios de Tianguistenco (1%), Capulhuac (1.1%), Atizapán (0.6%), Calimaya (0.6%) y en Texcalyacac (0.08%). Una característica coincidente en los municipios donde se determinaron población con vulnerabilidad económica alta, es que habitan a una distancia entre los 5.0 a 8.0 km respecto a los centros de los municipios, lo que acentúa la falta de servicios (figura 7).

El 53% de las manzanas se encuentran dentro de la categoría de vulnerabilidad económica media y el 36.2% de las manzanas se encuentran dentro de la categoría de vulnerabilidad económica baja. Donde, el municipio Tenango del Valle contiene el 15.4% de vulnerabilidad media y el 6.2% de vulnerabilidad baja. Las manzanas con vulnerabilidad baja coinciden con el centro y cabecera municipal dedicados al comercio y cuentan con todos los servicios.

Algunos municipios destacan por la cercanía de la carretera Toluca-Tenango, la cual aporta un mejor flujo del comercio (Whitelegg, 1994), además de pertenecer a la Zona Metropolitana del Valle de Toluca y contar con el desarrollo de conjuntos habitacionales (Martínez-Hernández, 2005). Las características descritas, aplican para municipios como San Antonio la Isla, Rayón y Chapultepec, donde más del 50% de las manzanas y probablemente de su población, se ubiquen en la categoría de vulnerabilidad económica baja. Estos últimos municipios mencionados, son municipios pequeños, de acuerdo a la superficie territorial lo que facilita que se cubran todos los servicios en la mayoría de la población. Dentro de la categoría con vulnerabilidad económica

alta, se encuentran el 10.7% de las manzanas, el 25.9% de las localidades, el 8.5% de viviendas, que aproximadamente corresponde al 9.8 % de habitantes (20,785 habitantes), esto para el total de manzanas estudiadas. La vulnerabilidad económica media contiene el 53.3% de manzanas, 46.9% de localidades, 51% de viviendas y 57.7% de habitantes (11,6201 habitantes), la vulnerabilidad baja el 36.2% de manzanas, 27.2% de localidades y 40.6% de viviendas y 35.6% de habitantes (75,638 habitantes) (tabla 18).

Figura 7. Vulnerabilidad económica por manzana en el Curso Alto del Río Lerma.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Número de manzanas, localidades, viviendas y población dentro de cada categoría de vulnerabilidad económica.

Categoría	Manzanas	Localidades	Viviendas	Población
Alta	262	21	5,583	20,785
Media	1 295	38	33,630	116,201
Baja	884	22	26,764	75,638

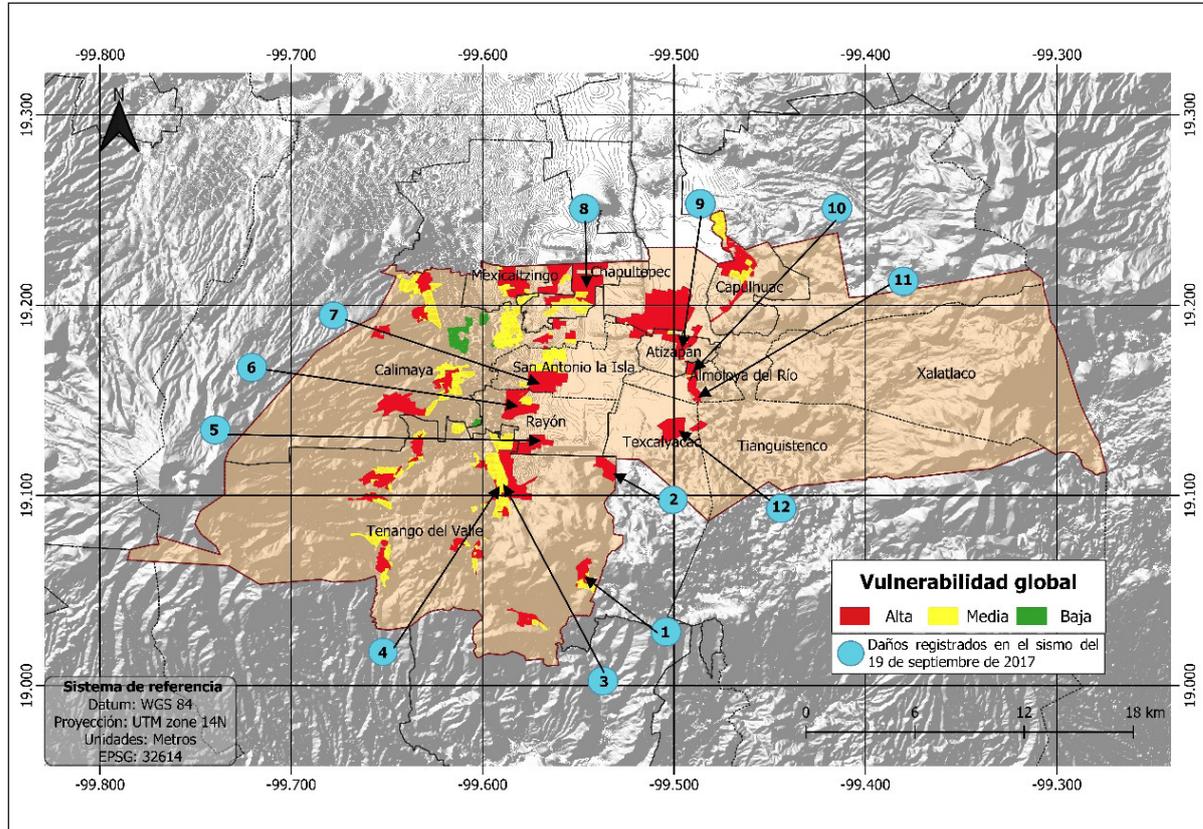
Fuente: Elaboración propia.

3.4. Cartografía de Vulnerabilidad Global

De acuerdo con la metodología descrita, la vulnerabilidad global para este caso de estudio considera la vulnerabilidad estructural (física), social y económica. Como se describe en los acápites anteriores cada vulnerabilidad está compuesta por una serie de indicadores que caracterizan las

condiciones específicas del territorio, en este sentido la cartografía de la vulnerabilidad global refleja la concentración de criterios de la posible predisposición a sufrir daños ante un sismo (figura 8). En las tablas 19 y 20 se tabulan las características estructurales, sociales y económicas para cada nivel de vulnerabilidad global.

Figura 8. Vulnerabilidad global por manzana en el Curso Alto del Río Lerma.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Características estructurales de acuerdo con el nivel de vulnerabilidad global.

Nivel de vulnerabilidad global	Características más frecuentes
	Estructurales
Baja	<p>Proyecto constructivo definido y funcional, materiales de media o buena calidad con acabados bien definidos, con autofinanciamiento o financiamiento oficial y/o bancario.</p> <p>Edad de construcción menor a los 25 años.</p> <p>Es probable que periodo dominante del terreno no coincida con el periodo de oscilación de las construcciones.</p> <p>Potencial de licuefacción bajo.</p> <p>Pendiente del terreno menor al 5%.</p>
Media	<p>Diseño arquitectónico definido y valor económico medio.</p> <p>Edad de construcción menor a los 25 años.</p> <p>Es probable que periodo dominante del terreno coincida con el periodo de oscilación de las construcciones, es altamente probable que ocurra el fenómeno de resonancia.</p> <p>Potencial de licuefacción entre alto y medio.</p> <p>Pendiente del terreno entre 0% al 5%.</p>

Nivel de vulnerabilidad global	Características más frecuentes
	Estructurales
Alta	<p>Construcciones económicas o precarias sin proyecto definido, con materiales económicos, acabados incipientes o viviendas de interés social.</p> <p>Es probable que periodo dominante del terreno coincida con el periodo de oscilación de las construcciones, es altamente probable que ocurra el fenómeno de resonancia.</p> <p>Edad de construcción entre 1 a 50 años.</p> <p>Potencial de licuefacción alto.</p> <p>Pendiente del terreno mayor al 5% en el 20% de las manzanas.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Características sociales y económicas de acuerdo con el nivel de vulnerabilidad global.

Nivel de vulnerabilidad global	Características más frecuentes	
	Sociales	Económicas
Baja	<p>No hay hacinamiento y tienen acceso a medios de comunicación e información.</p> <p>Ubicación en centros de municipio y zonas residenciales</p>	<p>Mayor porcentaje de población económicamente activa.</p> <p>Las viviendas cuentan con acceso a todos los servicios básicos (agua, drenaje y electricidad).</p> <p>Cuentan con electrodomésticos, tv de paga y medio particular de transporte.</p> <p>Ubicación en centros de municipio y zonas residenciales.</p>
Media	<p>Existe en menor medida el hacinamiento y tienen acceso a medios de comunicación e información.</p> <p>Ubicación en la periferia de los centros municipales.</p>	<p>Aparecen las viviendas sin acceso a servicios básicos, sin electrodomésticos, tv de paga y sin medios particulares de transporte.</p> <p>Ubicación en la periferia de los centros municipales.</p>
Alta	<p>Hacinamiento</p> <p>Sin acceso a medios de comunicación e información.</p> <p>Ubicación entre 5 y 8km y dividido por accidentes topográficos, de las zonas céntricas de los municipios.</p>	<p>Mayor porcentaje de viviendas sin acceso a servicios básicos, sin electrodomésticos, tv de paga y sin medios particulares de transporte.</p> <p>Ubicación entre 5 y 8km y dividido por accidentes topográficos, de las zonas céntricas de los municipios.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Las tablas 19 y 20 evidencian que, las manzanas con vulnerabilidad global alta generalmente son marginadas, con viviendas sin acceso a los servicios básicos, construidas con materiales económicos y de mampostería. Mientras que, las manzanas con vulnerabilidad global media se ubican espacialmente en la periferia de los centros urbanos, en menor medida carecen de servicios básicos y medios de comunicación y cuentan con construcciones con proyecto definido. Las manzanas con vulnerabilidad global baja son de tipo residencial o se encuentran ubicadas en los centros urbanos, con buen acceso a los servicios básicos y sus construcciones son de proyectos definidos.

Dentro de la categoría de vulnerabilidad global alta se ubica el 54.3% de las manzanas estudiadas, el 53.7% de las localidades, el 49.9% de las viviendas y el 47.7% de la población del Curso Alto del Río Lerma. En la categoría de vulnerabilidad global media clasifica el 39.9% de las manzanas, el 46.3% de las localidades, el 42.8% de viviendas y el 44.7% de la población. Y en la categoría de vulnerabilidad global baja, de acuerdo al resultado obtenido, se ubicaría el 5.8% de las manzanas, el 6.1% de las localidades, 7.3% de las viviendas y 7.7% de la población (tabla 21).

Tabla 21. Número de manzanas, localidades, viviendas y población dentro de cada categoría de vulnerabilidad global.

Categoría	Manzanas	Localidades	Viviendas	Población
Alta	1,325	44	32,923	101,324
Media	974	38	28,237	94,999
Baja	142	5	4,817	16,301

Fuente: Elaboración propia.

Como parte de la validación de los resultados, se realizó la superposición sobre la cartografía de vulnerabilidad global, de doce sitios, donde se reportó alguna afectación derivada del sismo del 19 de septiembre del 2017 con magnitud 7.1 (epicentro en el Estado de Puebla) (figura 8). Nueve sitios, coinciden espacialmente en las manzanas que en este trabajo se categorizan como de vulnerabilidad global alta; y los otros dos sitios, corresponden a manzanas de vulnerabilidad global media. Atendiendo, a los múltiples factores que determinan la vulnerabilidad sísmica, se puede considerar la cartografía obtenida como aceptable y de viable aplicación en la estrategia de prevención. Es importante destacar, que la información de daños por sismos en esta región del país, se encuentra de manera dispersa y con bajo nivel de sistematización, aspecto que dificultó la elaboración de este trabajo. Sin embargo, con el propósito de poner en perspectiva los daños ocurridos en el citado sismo, se incluye la tabla 22, misma que, relaciona los municipios estudiados y una breve descripción de daños, recabada en múltiples fuentes especialmente periodísticas y mediante los trabajos de campo realizados.

El análisis de vulnerabilidad realizado en este trabajo, constituye el primero de su tipo para los municipios del curso alto del Río Lerma, derivado de ello en este momento es imposible realizar un análisis comparativo de los resultados. Sin embargo, desde el punto de vista metodológico, la investigación se sustentó en métodos ampliamente validados para la resolución de tareas similares, es el caso del método de componentes principales, el sistema de puntuación desarrollado por Chang et al. (1995), el análisis Jerárquico de SAATY y el concepto de vulnerabilidad global propuesto por Fernández (2017). Lo anterior, integrado, analizado y editado en plataforma SIG.

Los resultados obtenidos, alcanzan especial relevancia para la gestión local de riesgo, donde se establece mediante la vulnerabilidad global, las manzanas donde espacialmente coinciden de forma favorable o desventajosa criterios sociales, económicos y de tipología constructiva. Donde, la cartografía mostrada, permite establecer rutas de trabajo prioritarias y políticas gubernamentales para incidir en los indicadores más desfavorables. El análisis de la vulnerabilidad estructural es crucial, dado que el derrumbe de una construcción genera pérdidas humanas y materiales (González-Huizar, 2019). A su vez “el análisis de la vulnerabilidad social y económica ayudan a comprender la capacidad de una sociedad (estudiada a nivel individual, familiar o comunitario) para anticipar, enfrentar, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza” (Frigerio et al. 2016).

Tabla 22. Resumen de daños reportados en el sismo del 19 de septiembre del 2017 con magnitud 7.1 y epicentro en el Estado de Puebla.

Municipio	Daños documentados en el sismo del 19 de septiembre de 2017	Fotografías
Almoloya del Río	Daños estructurales menores en dos escuelas.	 <p>Ejemplo de daños reportados en Tenango del Valle</p>  <p>Daños estructurales reportados en La escuela primaria "Lic. Alfredo V. Bonfil", Municipio Tenango Del Valle</p>  <p>Derrumbes documentados en el Municipio Texcalyacac</p>
Atizapán	Daños estructurales menores en una escuela.	
Calimaya	Daños estructurales en 3 parroquias.	
Capulhuac	Una persona fallecida por la caída de una barda. Daños estructurales en algunas casas e iglesias.	
Chapultepec	Daños estructurales menores en una escuela.	
Mexicaltzingo	-	
Rayón	Daños estructurales menores en una escuela y caída de bardas.	
San Antonio la Isla	Daños estructurales menores en una parroquia.	
Tenango del Valle	Daños estructurales en una escuela, más de 100 casas dañadas, caídas de bardas y 15 personas heridas.	
Texcalyacac	Caída de bardas construidas con adobe.	

Fuente. Elaboración propia con datos y fotografías publicadas en Castañeda (2019), Padrón-Lara (2017), Vásquez (2017) y Trinidad (2017).

4. Conclusiones

El 79.3% de las manzanas con vulnerabilidad estructural alta, se caracterizan por una edad en su mayoría superior a 50 años. Por ejemplo, las construcciones que sufrieron daños en el sismo del 2017 fueron las más antiguas de la zona de estudio. Las construcciones en este nivel de vulnerabilidad estructural, generalmente son de tipo económico, sin proyecto arquitectónico definido, ejecutada con materiales de poca calidad, en la mayoría de los casos corresponden a viviendas de interés social. Por su parte, el 13.8% y el 3.8% de las manzanas clasificaron en los niveles de media y baja vulnerabilidad estructural respectivamente.

Las manzanas con vulnerabilidad social y económica alta son el 22.5% y el 10.7% respectivamente, se localizan alejadas de las zonas céntricas de los municipios del área de estudio, esto define la falta de servicios básicos (electricidad, drenaje y agua) en las viviendas y el limitado acceso a medios de información y comunicación. El municipio Tenango del Valle cuenta con el mayor porcentaje de manzanas que se encuentran en esta categoría.

Las manzanas con vulnerabilidad social y económica media son el 40.7% y 53% respectivamente, se caracterizan por la falta de servicios y acceso a medios de comunicación, ubicadas en la periferia de los centros municipales. Los municipios de Tenango del Valle, Calimaya, San Antonio la Isla y Rayón, cuentan con la mayoría de las manzanas en estas categorías.

Para el índice de vulnerabilidad global, el factor estructural es el de mayor influencia de acuerdo con el método Saaty, delimitado por indicadores como la edad, tipo de construcción, altura, pendiente del terreno y la posible ocurrencia de la licuefacción, que son condiciones propias de la zona de estudio. Sin embargo, las condiciones sociales y económicas también son consideradas y ampliamente analizadas en este trabajo, pues éstas determinan la capacidad de reacción y recuperación. Las manzanas con vulnerabilidad global alta representan el 54.3% del total, media el 39.9% y baja el 5.8%. Las manzanas que obtuvieron una vulnerabilidad global alta son de alta prioridad, puesto que tienen vulnerabilidad estructural, social y económica alta, lo que supone falta de resiliencia en caso de que se presente un sismo de moderada a alta magnitud. Las únicas manzanas con vulnerabilidad global baja son zonas residenciales del municipio de Calimaya.

El desarrollo de instrumentos de gestión del riesgo (Atlas de Riesgo, Programas de Ordenamiento Territorial, Programas de Ordenamiento Ecológico-Territorial y Planes de Desarrollo Municipal Urbano) a una escala detallada y actualizados, es fundamental para la generación de medidas de mitigación puntuales que permitan la reducción del riesgo. Hasta el momento los únicos documentos con los que se cuenta en la zona para gestionar los riesgos y las vulnerabilidades son los Atlas de Riesgo y los Planes de Ordenamiento Territorial, documentos donde se generaliza la información y en muchos casos no existen o se encuentran desactualizados. Este trabajo ofrece la oportunidad de ubicar espacialmente la vulnerabilidad estructural, social y económica, de manera específica con datos de la población y número de viviendas, información valiosa que permite una respuesta oportuna ante los peligros.

Referencias

- Aceves, F., López, J. y Martín del Pozzo, A. (2006). Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y Sistemas de información geográfica en el área del Nevado de Toluca. *Revista Mexicana de Ciencias geológicas*, 23 (2), 113-124. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742006000200001
- Álvarez-Mantilla, A., Carreón, D., Mendoza, C., Zúñiga-Dávila, F. R. y Zhao, D. (2017). Contribución de las frecuencias características al periodo de vibración dominante en la ciudad de Querétaro, México. *Ingeniería Sísmica*, 97, 84-101. doi: <https://doi.org/10.18867/ris.97.482>
- Astroza, M. y Monge, J. (1991). Regional Seismic Zonation in Central Chile". *En 4th Internacional Conference on Seismic Zonation, California* (pp. 487-494). Oakland, California: Carl Wikander. Recuperado de <https://searchworks.stanford.edu/view/2265784>
- Barrantes, G. y Márquez, R. (2011). De la atención del desastre a la gestión del riesgo: Una visión desde la geografía. *Revista Geográfica de América Central*, 2 (47), 15-37. Recuperado de <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/3966>
- Barquero, R. (2009). El terremoto de Cinchona del 8 d enero de 2009. *Red Sismológica Nacional (RSN: UCR-ICE)*. Recuperado de https://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Informes_sismos/terremoto_cinchona.pdf

- Bommer, J., Salazar, W. y Samayoa, R. (1998). Riesgo sísmico en la Región Metropolitana de San Salvador. *Programa salvadoreño de investigación sobre desarrollo y medio ambiente*. Recuperado de https://www.prisma.org.sv/wp-content/uploads/2020/02/riesgo_sismico_en_la_RMSS.pdf
- Cardona, O. D. (2001). *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos* (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6219/01Portadas.PDF?sequence=1>
- Castañeda, H. (19 de septiembre de 2019). Escuelas mexiquenses sin terminar de repararse desde el sismo de 2017. *The Observer*. <https://www.theobserver.mx/2019/09/19/escuelas-mexiquenses-sin-terminar-de-repararse-desde-el-sismo-de-2017/>
- Castrillo-Osorio, N. (2021). Microzonificación sísmica del sector urbano de la ciudad de León, Nicaragua. *Revista Científica de FAREM-Estéf.* (40), 96-117. doi: <https://doi.org/10.5377/farem.v10i40.13048>
- Chang, T. S., Eri, M., Pezeshk, S., Yiak, K.C. y Kung, H.T. (1995). Seismic vulnerability evaluation of essential facilities in Memphis and Shelby county, tennessee. *Earthquake Spectra*, 11 (4), 527-544. doi: <https://doi.org/10.1193/1.15858>
- Chávez-García, F.J., Sánchez-Sesma, F.J., Campillo, M. y Pierre-Yves, B. (1994). El terremoto de Michoacán de septiembre de 1985: Efectos de fuente, trayecto y sitio. *Física de la Tierra*, Núm. 6 (pp. 157-200). Madrid, España: Editorial Complutense, Madrid. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=124531>
- Dalenius T. y Hodges, J. (1959). Minimum variance stratification. *Journal of the American Statistical Association*. 54 (285), 88-101. doi: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1959.10501501>
- Díaz-Caravantes, R. E., (2018). Vulnerabilidad y riesgo como conceptos indisociables para el estudio del impacto del cambio climático en la salud. *Región y sociedad* (73), 1-33. doi: <https://doi.org/10.22198/rys.2018.73.a968>.
- Fernández, G. (2017). Propuesta metodológica: construcción de un índice de vulnerabilidad global ante la amenaza sísmica, en espacios regionales, con el uso de técnicas estadísticas multivariantes. *Terra Nueva Etapa*, 33 (54), 127 – 163. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/721/72155359006.pdf>
- Flores, K.L., Escudero, C.R. y Zamora-Camacho, A. (2021). Multicriteria seismic hazard assessment in Puerto Vallarta metropolitan area, México. *Natural Hazards*, 105 (1), 253–275. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-020-04308-x>
- Frigerio, I., Ventura, S., Strigaro, D., Mattavella, M., De Amicis, M., Mugnanob, S. y Boffib, M. (2016). A GIS-based approach to identify the spatial variability of social vulnerability to seismic hazard in Italy. *Applied Geography*, 74, 12-22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.06.014>
- García-Castro, N. y Villerías-Salinas, S. (2017). Condiciones de vulnerabilidad social en Ixtapa y Zihuatanejo (Guerrero), México. *Revista Geográfica Venezolana*, 58 (2), 264-281. doi: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347753793002>
- García-Palomo, A., Macías, J. y Garduño, V. H. (2000). Miocene to recent structural. *Tectonophysics*, 318, 218-302. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=7352580&pid=S1026-8774201500010000900020&lng=es
- Grases, J. (2014). Propuestas dirigidas a una mejor caracterización de la amenaza sísmica. En J. Grases (Ed), *La amenaza sísmica. estrategias preventivas* (pp. 35 - 78). CAF-banco de desarrollo de América Latina. Recuperado de <https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/896/La%20amenaza%20sismica.pdf>
- Gobierno del Estado de México (2009). *Gaceta del Gobierno del Estado de México*. Tomo CLXXXVII, No. 1. Toluca de Lerdo, México.
- González, V., Ferrer, M., Ortuño, I., Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. PEARSON. Recuperado de <file:///C:/Users/23770332/Downloads/Dialnet-IngenieriaGeologicaEnTerrenosVolcanicos-653671%20>
- González-Huizar, H. (2019). La Olimpiada XXIV de Ciencias de la Tierra: Los Grandes Terremotos en México. *GEOS*, 39(1). Recuperado de <http://olimpiadas.uniongeofisicamexicana.org.mx/docs/xxv/informe-xxiv.pdf>
- Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Estado de México (2017). *Carta geológica del Estado de México*. Recuperado de ifomegem.edomex.gob.mx/carta_geologica
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2021). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Jiménez-Flores, C.A. (2021). *Criminalización, cárcel y producción de subjetividad* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Metropolitana. Recuperado de <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/26530>

- Macías-Serrat, L. (2022). *Peligro sísmico y vulnerabilidad social en Morelia. Políticas públicas para la reducción del riesgo de desastres* (Tesis de maestría). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Recuperado de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/6765
- Martínez-Hernández, V. (2005). *La periferia y la transición de lo rural a lo urbano en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca* (Tesis de maestría). Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales. Recuperado de <http://conocimientoabierto.flacso.edu.mx/tesis/258>
- Montz, B.E., Tobin, G.A y Hagelman, R.R (2017). *Natural Hazard: Explanation and integration*, New York, Estados Unidos, Guilford Press.
- Mora, R. (1998). Propiedades físicas, hidráulicas y mecánicas de suelos de origen volcánico, en sitios seleccionados del Valle Central, Costa Rica. *Geológica de América Central*, (19), 81-98. doi: doi.org/10.15517/rgac.v0i22.8602
- Norini, G., Gropelli, G., Lagmay, A. y Capra, L. (2006). Recent left-oblique slip faulting in the central eastern Trans-Mexican Volcanic Belt: Seismic hazard and geodynamical implication. *TECTONICS*, 25, 1-21. doi: <https://www.researchgate.net/publication/251431086>
- Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (2021). *La reducción del riesgo de desastres*. Recuperado de <https://www.eird.org/americas/we/que-es-la-reduccion-del-riesgo-de-desastres.html>
- Olivares-Sánchez, R., Angeles-Moreno, E., Cabadas-Báez, H.V., Miranda-Avilés, R. y Ordaz-Hernández, A. (2020). "Geología Ambiental y Peligros Geológicos a lo Largo de las Fallas Tenango, Estado de México". Sesión de conferencia en el X Congreso nacional de estudiantes en ciencias de la Tierra, Juriquilla, Querétaro, 12, 13, 14, 15 y 16 de octubre del 2020. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Edgar-Angeles-Moreno/publication/344784153_GEOLOGIA_AMBIENTAL_Y_PELIGROS_GEOLOGICOS_A_LO_LARGO_DE_LAS_FALLAS_TENANGO_ESTADO_DE_MEXICO/links/5f9013da458515b7cf910285/GEOLOGIA-AMBIENTAL-Y-PELIGROS-GEOLOGICOS-A-LO-LARGO-DE-LAS-FALLAS-TENANGO-ESTADO-DE-MEXICO.pdf
- Ordaz, A. (2015). Evaluación de las condiciones ingeniero-geológicas para el pronóstico de la respuesta dinámica de los suelos: caso de estudio: Ciudad de San Cristóbal, Cuba Occidental (Tesis de doctorado). Universidad de Pinar del Río, Cuba. Editorial Universitaria, La Habana.
- Ordaz-Hernández, A., Hernández-Millán, J. y Garatachia-Ramírez, J.C. (2020). Aproximación cartográfica a la vulnerabilidad estructural ante sismos empleando una metodología cualitativa: aplicación para la Ciudad de Toluca. *Cuadernos Geográficos*, 59 (2), 178 – 198. doi: <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v59i2.9340>
- Padrón-Lara J. M. (20 de septiembre de 2017) .Reportan sólo daños materiales en Texcalyacac. *El Mexiquense*. Recuperado de <https://elmexiquensehoy.blogspot.com/2017/09/reportan-solo-danos-materiales-en.html>
- Peduzzi, P., Dao, H. y Herold, C. (febrero de 2002). Hazards, vulnerability and risk, definitions and concep. *En Feasibility Study Report On Global Risk And Vulnerability Index (GRAVITY)* (pp. 3). Ginebra, Suiza: UNDP/BCPR (formerly ERD). Recuperado de <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/8818>
- Peña, R. (2018). *Susceptibilidad a la ocurrencia de licuefacción de los suelos en la ciudad de Bayamo inducido por fuertes terremotos* (Tesis de ingeniería). Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Recuperado de <http://200.14.55.73/handle/123456789/1508?show=full>
- Prasetyoa, Y. T., Senoro D. B., German, J. D., Robielos, E. A. C. y Nery, F.P. (2002). Confirmatory factor analysis of vulnerability to natural hazards: A household Vulnerability Assessment in Marinduque Island, Philippines. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50. doi: [10.1016/j.ijdr.2020.101831](https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101831)
- Preciado, A., Ramírez-Gaytán, A., Lazcano, S., Preciado, I., Gutierrez, N. y Santos, J.C. (2017). "Vulnerabilidad de edificios ante resonancia sísmica en Guadalajara y Zapopan por el sismo del 11 de mayo de 2016 mw=4.9". *Actas del XXI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*. Guadalajara, Jalisco, 20, 21, 22 y 23 de septiembre de 2017. Recuperado de <https://rei.iteso.mx/handle/11117/5190?show=full>
- Preciado, A., Rodríguez, O., Caro, J.L., Lujan, R. (2015). "Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas de Mampostería no Reforzada en el Pueblo de Tlajomulco, Jalisco". *Actas del XX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Acapulco, Guerrero, 25, 26, 27 y 28 de noviembre de 2015. Recuperado de <https://rei.iteso.mx/handle/11117/3472>
- Ramírez, M. L. (2004). El método de jerarquías analíticas de Saaty en la ponderación de variables: Aplicación al nivel de modalidad y morbilidad en la provincia de Chaco. *Universidad Nacional del Nordeste, Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. Recuperado de <https://hum.unne.edu.ar/investigacion/geografia/labtig/publicaciones/public16.pdf>
- Ruiz-Sibaja, J. A., Vidal-Sánchez, F., Rodríguez-Troyano, E. y Santos-Hernández, J. F. (2019). Vulnerabilidad sísmica de los edificios del centro histórico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *PACBAL*, (45), 12-19. Recuperado de https://www.ingenieria.unach.mx/images/Articulos_revista/revistapakbal_45_pag12-19.pdf

- Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. New York, McGraw-Hill.
- Salinas, J., Dávila, I., Ramón, R., y Chávez, S. (20 de septiembre de 2017). Más de 70 viviendas afectadas, 12 muertos, caída de bardas y derrumbes, en Edomex. *La Jornada*. Recuperador de <https://www.jornada.com.mx/2017/09/20/politica/018n1pol>
- Sánchez, F. (2020). *Zonificación de la respuesta sísmica local, mediante análisis espacial*. Caso de Estudio: Zona Metropolitana del Valle de Toluca (Tesis de maestría). Universidad Autónoma del Estado de México.
- Sánchez-Calvillo, A., (2022). La vulnerabilidad sísmica de la vivienda vernácula de adobe en México: análisis constructivo y caracterización material para su conservación (Tesis doctoral). Universidad Michoacana San Nicolás De Hidalgo. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Adria-Sanchez-Calvillo/publication/365727077_La_vulnerabilidad_sismica_de_la_vivienda_vernaculade_adobe_en_Mexico_analisis_constructivo_y_caracterizacion_material_para_su_conservacion
- Sánchez-Calvillo, A., Alonso-Guzmán, E.M. y López-Nuñez, M.D.A. (2021). Vulnerabilidad sísmica y la pérdida de la vivienda de adobe en Jojutla, Morelos, México, tras los sismos de 2017. *Redalyc*, (10), 9-29. doi: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v2i10.162>
- Servicio Sismológico Nacional (2017). *Reporte Especial Grupo de trabajo del Servicio Sismológico Nacional, UNAM: Sismo del día 19 de Septiembre de 2017, Puebla-Morelos (M 7.1)*. Recuperado de: http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2017/SSNMX_rep_esp_20170919_Puebla-Morelos_M71.pdf
- Servicio Sismológico Nacional de México. (2023). *Portal electrónico del Servicio Sismológico Nacional de México*. Recuperado de: <http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalogo/>
- Stankoa, D., Markušić, S., Streleca, S. y Gazdeka, M. (2017). HVSR analysis of seismic site effects and soil-structure resonance in Varaždin city (North Croatia). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 92, 666-677. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.soildyn.2016.10.022>
- Takewaki, I., Murakami, S., Fujita, K., Yoshitomi, S. y Tsuji, M (2011). The 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake and response of high-rise buildings under long-period ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31, 1511-1528. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2011.06.001>
- Trinidad L. (10 de octubre de 2017). Quedaron sin escuela 300 niños y nadie les dice dónde van a estudiar, en Tenango del Valle. *MVT*. <https://mvt.com.mx/quedaron-sin-escuela-300-ninos-y-nadie-les-dice-donde-van-a-estudiar-en-tenango-del-valle/>
- OPS (2004). *Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud*. Washington, D.C. 153p. Recuperado de http://www.disaster-info.net/safehospitals_refdocs/documents/spanish/FundamentosParaLaMitigacion.pdf
- Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator (1979). "Natural disasters and vulnerability analysis: Report of expert group meeting, 9-12 July 1979". En *Natural Disasters and Vulnerability Analysis* (pp. 8-9). Expert Group Meeting on Vulnerability Analysis. Ginebra, Suiza, agosto 1980. Recuperado de <https://digitallibrary.un.org/record/95986?ln=es>
- Vargas, C.A., Vargas, L.A., y Coto, M. (2009). Análisis espectral de ondas superficiales: aplicación efectiva para la caracterización geológica de ocho sitios distintos de cimentación en Costa Rica. *Geológica de América Central*, (41) 37 - 54. doi: <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i41.4177>
- Vásquez, J. C. (20 de septiembre de 2017). Templos y casas resultaron con daños en Tenango del Valle y Calimaya. *Así Sucede*. <https://asisucede.com.mx/templos-casas-resultaron-danos-tenango-del-valle-calimaya/>
- Vázquez, S. L. y Heine, K. (2002). Late Quaternary glaciation of México. En J. Ehlers, P. L. Gibbard (Eds.) *Quaternary Glaciations - Extent and Chronology. Volume 2, Part III: South America, Asia, Africa, Australia, Antartica*, Amsterdam, Netherlands: Elsevier. 233-242 Pp.
- Vicente, J., González, J., Parra, F. y Beltrán, P. (2019). Métodos estadísticos de reducción de dimensiones. En *Métodos de data science aplicados a la economía y a la administración y dirección de empresas* (pp. 225-244). Madrid, España, UNED.
- Whitelegg, J. (1994). *Roads, jobs and the economy*. Londres, Inglaterra, Greenpeace.
- WILCHES-CHAUX, G. (1993). La Vulnerabilidad Global. Documento en Línea. Compilado en Maskrey, A. *Los desastres no son naturales*, Ciudad de Panamá, Panamá: Edición Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Recuperado de <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf> [Consultado: 2015 enero 10]
- Wilches-Chaux, G. (1989). La vulnerabilidad global. En *Desastres, Ecologismo y Formación Profesional: Herramientas para la Crisis* (pp. 3-14). Servicio Nacional de Aprendizaje. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11404/1034>

- Yamamoto, J. y Mota, R. (1988). La secuencia de temblores del Valle de Toluca, México, de agosto de 1980. *Geofísica Internacional*, 27 (2), 279 - 298. doi: <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.1988.27.2.787>
- Yepes, V. (2022). *El blog de Víctor Yepes*. Recuperado de <https://victoryepes.blogs.upv.es/contacto/>

Agradecimientos

Este trabajo se realizó con el apoyo del Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT) y la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx). Agradecemos a ambas instituciones por proporcionar los recursos y el entorno necesario para el desarrollo de esta investigación.

Contribución de autorías

María del Carmen González Díaz

Diseño metodológico, redacción y trabajo cartográfico. Edición de acuerdo a las normas de la revista.

Alexis Ordaz Hernández

Diseño metodológico y de bases de datos. Edición de acuerdo a las normas de la revista. Autor encargado para la correspondencia.

Luis Miguel Espinosa Rodríguez

Diseño metodológico, comparación de resultados con otros estudios y redacción de conclusiones.

Roberto Franco Plata

Diseño metodológico y análisis de resultados.

Financiación

Sin financiación.

Conflicto de intereses

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.