

Vulnerabilidad sísmica y la pérdida de la vivienda de adobe en Jojutla, Morelos, México, tras los sismos de 2017

Seismic vulnerability and the loss of the traditional adobe buildings in Jojutla, Morelos, México, after the 2017 earthquakes

Doi: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v2i10.162>

ADRIÀ SÁNCHEZ CALVILLO

<https://orcid.org/0000-0002-3653-8000> / adria.sanchez.9@hotmail.com

ELIA MERCEDES ALONSO GUZMÁN

<https://orcid.org/0000-0002-8502-4313> / elia.alonso@umich.mx

MARÍA DEL CARMEN LÓPEZ NÚÑEZ

<https://orcid.org/0000-0002-8718-0096> / carmen.lopez@umich.mx

Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo, México

Recibido: 9 de septiembre de 2020. Aceptado: 26 de marzo de 2021.

RESUMEN

La vivienda de adobe es una de las tipologías constructivas más representativas de la arquitectura tradicional y de la cultura local en México. En las últimas décadas estos sistemas han sufrido un abandono y desplazamiento por materiales y técnicas contemporáneos, situación que no ha hecho más que acrecentarse tras los recientes eventos sísmicos ocurridos en el país, especialmente los del año 2017. La localidad de Jojutla, en el estado de Morelos, fue una de las más afectadas por el sismo de Puebla de 2017, sufriendo daños irreparables en su patrimonio edificado, donde destaca la pérdida de las viviendas de adobe del centro histórico.

Con la presente investigación se hizo un estudio completo en la localidad señalada y la afectación sísmica en las construcciones de adobe tras los eventos de 2017. Para ello se empleó una metodología que incluyó análisis mediante sistemas de información geográfica, caracterización de los materiales constructivos de tierra en el laborato-

rio, y la revisión de las regulaciones constructivas y los planes de gestión de riesgos del municipio.

Pudieron observarse graves deficiencias constructivas en las viviendas, así como una incorrecta planificación a nivel urbano y de gestión de riesgos en la localidad, lo que contribuyó a aumentar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones. A partir de las investigaciones previas y de los resultados que se presentan, pudo establecerse que las viviendas de adobe fueron desprotegidas por las autoridades, aunado al olvido de los sistemas tradicionales y las malas prácticas, lo cual derivó en la desaparición de esta cultura constructiva en la región estudiada.

Palabras clave: arquitectura de tierra, vulnerabilidad sísmica, vivienda de adobe, caracterización de materiales, cultura constructiva, sistemas de información geográfica.

ABSTRACT

Adobe dwellings are the most representative constructive typologies of the traditional archi-



ecture and local culture of Mexico. In the last decades these systems have been abandoned and displaced by modern materials and techniques, a situation enhanced by the recent seismic events, especially the ones which struck the country in 2017. The city of Jojutla, in the State of Morelos, was one of the most affected by the 2017 Puebla earthquake, suffering several damages of the built heritage, highlighting the adobe dwellings in the historic centre.

The following paper presents the research carried in the city of Jojutla regarding the seismic impact over the earthen constructions of the region after the 2017 earthquake. There was applied a research methodology which included techniques like geographic information systems, characterisation of the earthen construction materials in the laboratory, and the analysis and revision of the local building codes and risk management plans.

There could be noticed several structural deficiencies in the dwellings of the town, as well as wrong urban planning and risk management plans, contributing to increase the seismic vulnerability of the constructions. On the basis of previous research and the results presented, it could be established that the lack of protection and exposition of the adobe dwellings, in combination with the oblivion of the traditional techniques and bad practices, caused the complete demise of this constructive culture in the studied region.

Keywords: earthen architecture, seismic vulnerability, adobe dwellings, building traditions, constructive alterations.

INTRODUCCIÓN

La tierra es uno de los materiales de construcción más antiguos que se conocen, contando evidencias arqueológicas que atestiguan su uso desde hace miles de años (Heathcote, 1995), la cual fue la base constructiva de las primeras grandes urbes de la humanidad. Estos sistemas constructivos se encuentran presentes en todos los continentes habitados, con innumerables

técnicas y variaciones de las mismas. En México, la arquitectura de tierra está representada tanto en su patrimonio prehispánico como virreinal, y hasta nuestros días, sin obviar las edificaciones construidas en las últimas décadas, puesto que a nivel urbano gran parte de las casas de muchas regiones del país fueron construidas en uno o dos pisos de adobe, hasta que con el avance de los siglos el ladrillo cocido desplazó a este material (Yamín Lacouture, Phillips Bernal, Reyes Ortiz y Ruiz Valencia, 2007).

Con los siglos, la construcción con tierra ha sufrido un progresivo abandono, quedando desplazada por los nuevos sistemas y materiales. La problemática de su desaparición es un hecho conocido y aceptado por la comunidad científica, que apremia su recuperación y difusión. Actualmente esta tradición constructiva ha quedado relegada a los países y regiones más humildes, contando con una baja apreciación,¹ siendo el caso de México, donde se ha desacreditado, “ignorada por los organismos de apoyo a la vivienda, la mayoría de las facultades de arquitectura e incluso las instituciones encargadas del patrimonio” (Guerrero Baca, 2007).

Sin embargo, a partir de estos acontecimientos y de la destrucción física y tangible del patrimonio cultural, ha habido una mayor difusión y producción de conocimiento acerca de la problemática en México. El trabajo de las instituciones educativas y posgrados con énfasis en la conservación del patrimonio es especialmente importante, destinando mayores recursos a la investigación y los proyectos de cooperación.

En la presente investigación se estudió el fenómeno de la vulnerabilidad sísmica en la localidad de Jojutla, que experimentó un gran impacto por los sismos del año 2017 y una pérdida irreemplazable de su patrimonio cultural. A partir de la vulnerabilidad observada y de los daños materiales y estructurales que experimentaron las construcciones, se investigó a fondo el

1. El concepto de tradición constructiva o cultura constructiva implica todo el desarrollo y conocimientos de los procesos constructivos en torno a los materiales y sistemas locales, que son necesarios para cubrir la necesidad de habitar un espacio.

comportamiento de las viviendas de adobe y su posterior desaparición en la localidad. Mediante el empleo de una metodología integral que incluyó sistemas de información geográfica, caracterización experimental de los materiales en el laboratorio y revisión de la regulación y normas constructivas, pudo comprenderse mejor el fenómeno de la vulnerabilidad para el caso de estudio en específico.

ESTADO DE LA CUESTIÓN: EL ABANDONO DE LA ARQUITECTURA DE TIERRA EN MÉXICO

La desaparición del patrimonio y de la vivienda construidos en tierra puede ser corroborada e incluso cuantificada por los organismos públicos mexicanos. En las publicaciones del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) pueden encontrarse los resultados referentes a la vivienda en México y su distribución por sistemas constructivos, entre otros parámetros. Comparando los datos del XII Censo General de Población y Vivienda 2000, con la Encuesta Intercensal 2015, siendo esta última la información disponible sobre vivienda más reciente, puede apreciarse una acusada disminución de la vivienda tradicional en todo el país.

En el año 2000 el total de viviendas de adobe ascendía a 2'135,694 sobre una cifra total de 21'513,235 lo que representó un porcentaje del 9.93% del total de los inmuebles en esa temporalidad; en cambio los resultados del año 2015 muestran un total de viviendas de adobe de 1'710,456 respecto al total construido de 31'924,863 domicilios censados, que representa un porcentaje del 5.36% de toda la vivienda del país (INEGI, 2000, 2015).

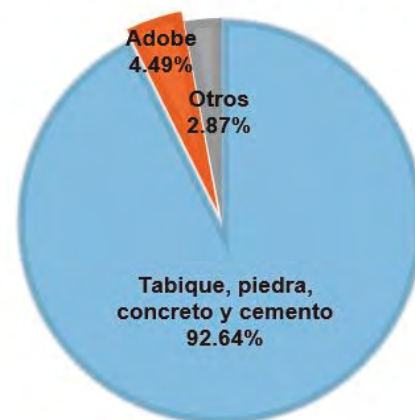
Al analizar los datos estadísticos podemos extraer conclusiones preocupantes acerca de la pérdida de viviendas construidas con sistemas constructivos de tierra: por un lado no sólo el número total no ha crecido sino que se han perdido más de 400,000 viviendas en los últimos 15 años, cuando la cifra total de inmuebles se ha disparado en más de 10 millones; por otro lado y en con-

secuencia, el porcentaje de viviendas de adobe ha disminuido exponencialmente en beneficio de los llamados materiales globales, con su máximo exponente en materiales cerámicos de alta temperatura y/o reacción química, principalmente el concreto y el tabique recocido. La sostenibilidad del adobe como material de construcción se fundamenta en la reducción de emisiones contaminantes que supone respecto al cemento, que sí implica un importante gasto energético (Costa, Cerqueira, Rocha y Velosa, 2019).

FIGURA 1

Resultados de la Encuesta Intercensal 2015: "Distribución de la vivienda según material de los muros, estado de Morelos"

ESTADO DE MORELOS. RESULTADOS DE ENCUESTA INTERCENSAL 2015



Respecto al estado de Morelos, donde se desarrolló la investigación, su situación es representativa respecto al país, puesto que el porcentaje de viviendas de adobe representa 4.49%, siendo muy cercano al 5.31% de México en conjunto (véase figura 1). Sin embargo, dentro del mismo estado de Morelos la distribución de las construcciones con adobe es muy variable según los municipios, como puede observarse en la figura 2, donde éstos aparecen representados según el porcentaje de arquitectura en tierra remanente.

En ciertas regiones del estado destaca la notable conservación de los materiales y sistemas constructivos tradicionales, como por ejemplo los municipios cercanos a la falda del Volcán Popocatepetl; en cambio, en las grandes zonas

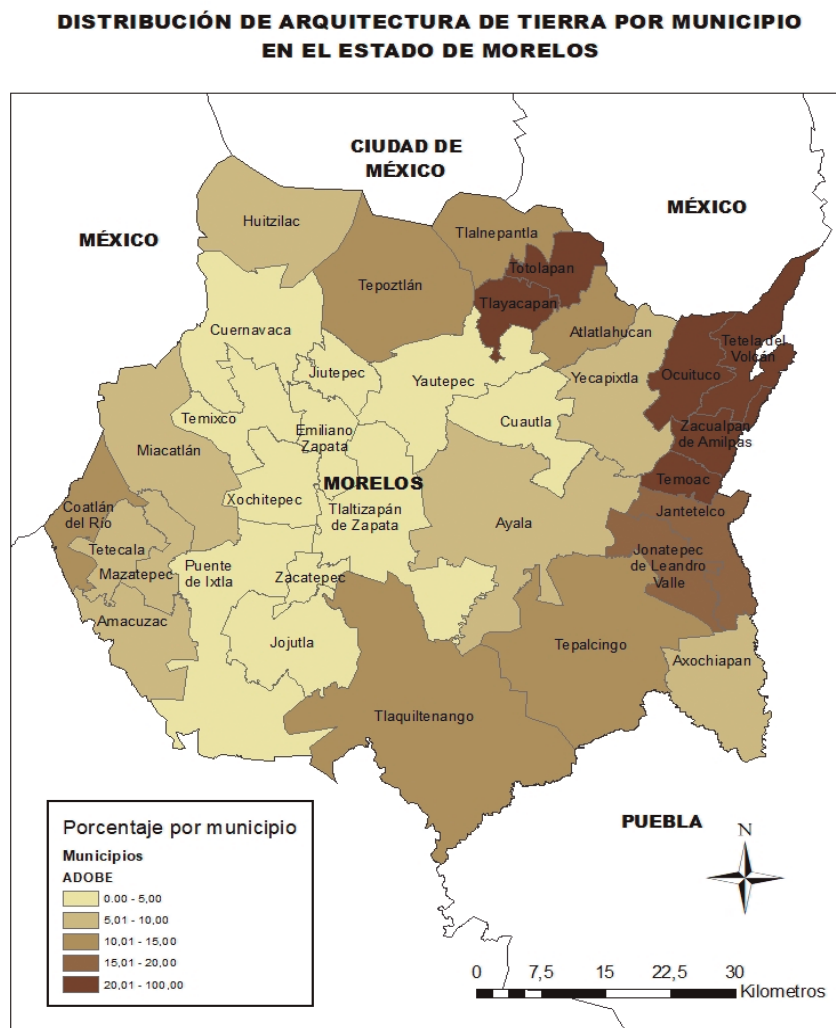
urbanas, como la conurbación de Cuernavaca, la sustitución por edificaciones de concreto y otros sistemas constructivos contemporáneos ha sido considerable, siendo muy complicado encontrar edificaciones de tierra más allá de los centros históricos conservados por la legislación vigente.

Existe una clara correlación entre los factores económicos y sociales y la construcción de viviendas con tierra. En la figura 3 se comparan cuatro diferentes mapas del estado que muestran la distribución por municipios de la arquitectura de adobe, los principales núcleos de población,

la densidad poblacional en habitantes por metro cuadrado, y los ingresos económicos. A partir de un esquema cromático, en el que la mayor intensidad de color representa mayores valores de la variable, pueden establecerse relaciones inversamente proporcionales: la vivienda de adobe corresponde a localidades aisladas con pocos habitantes y una baja renta *per cápita*. Por otro lado, los principales núcleos de población donde se concentra la mayor riqueza del estado apenas cuentan con viviendas tradicionales que incorporen materiales locales.

FIGURA 2

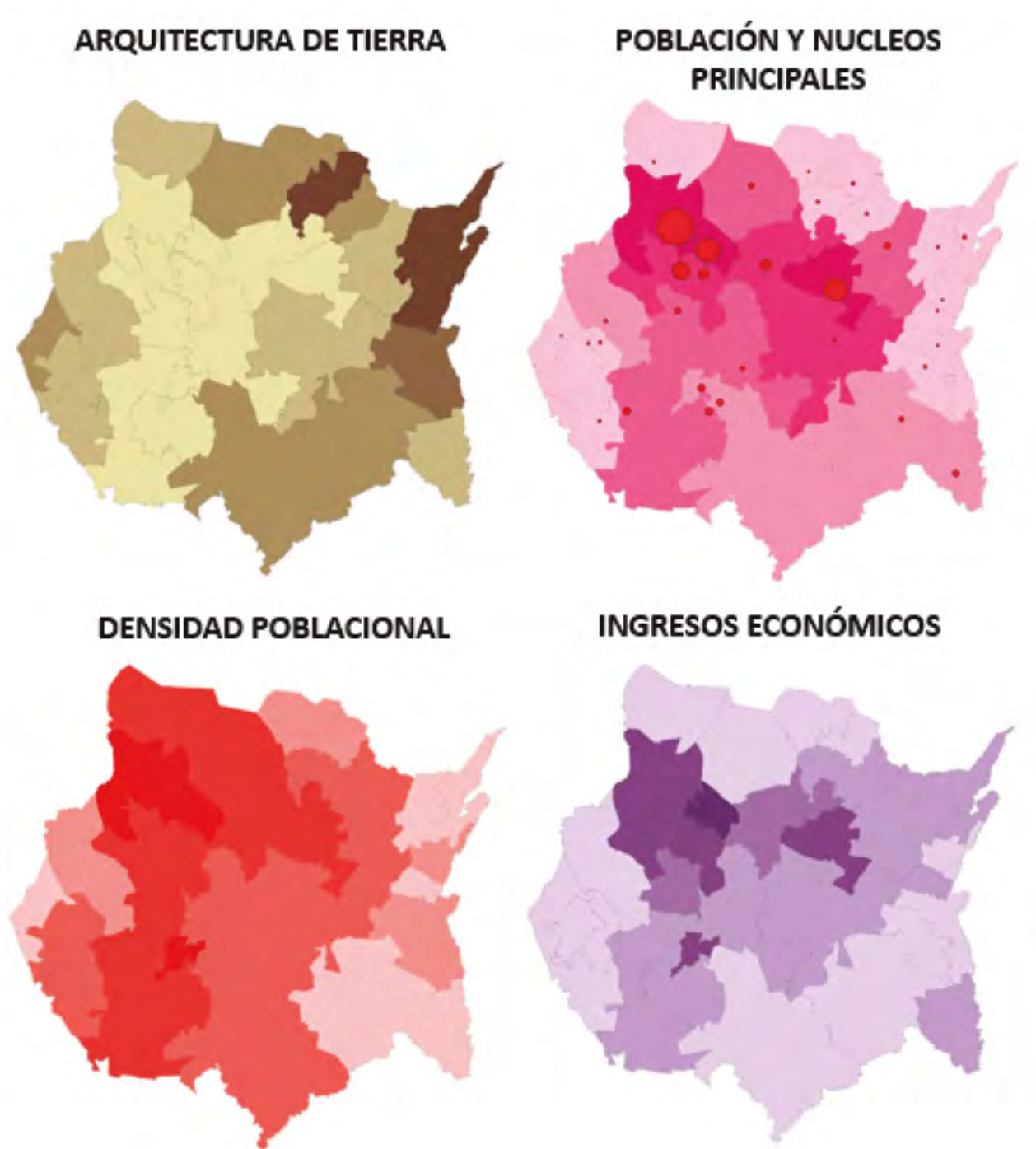
Estado de Morelos: distribución porcentual de viviendas de adobe por municipio



Elaborado por A. Sánchez-Calvillo (2020).
Fuente: INEGI, 2015.

FIGURA 3

Estado de Morelos: correlación entre arquitectura de tierra y factores demográficos y socioculturales



Elaborado por A. Sánchez-Calvillo (2020).

Fuente: INEGI, 2015.

ANTECEDENTES: EL SISMO DE PUEBLA DE 2017

Los sismos son uno de los fenómenos naturales más notables por su elevada destrucción traducida en daños materiales y pérdidas humanas, generando una destrucción del patrimonio edificado tras su suceso. Además, los efectos psicológicos en la población son aún mayores, pues suponen un decrecimiento de la economía en las regiones y países afectados (Spence, 2009). Las afectaciones son, además, mucho más graves en las zonas urbanas de los países en vías de desarrollo, los cuales no cuentan con infraestructura ni estrategias suficientes para afrontar las amenazas naturales, confluyendo en una mayor vulnerabilidad ante estos eventos (Chardon, 2008).

En el mes de septiembre del año 2017 México fue afectado por dos eventos sísmicos altamente destructivos que tuvieron un alto impacto en las regiones afectadas y en la sociedad. Los dos sismos provocaron importantes daños materiales y pérdidas humanas, además de la conmoción social y cultural que implican los desastres de origen natural.

El primer sismo fue reportado el 7 de septiembre de 2017, con epicentro en el Golfo de Tehuantepec, estado de Chiapas, el cual fue originado en la Placa de Cocos y reportó una magnitud de 8.2 Mw², el segundo mayor en el país desde que se tienen registros. Este evento destacó por ser uno de los mayores registrados en la historia sísmica de México y por las numerosas réplicas que fueron detectadas en los siguientes días. Los estados mexicanos con mayor afectación fueron Chiapas, Oaxaca y Tabasco (Servicio Sismológico Nacional, 2017).

El segundo sismo fue reportado el 19 de septiembre del mismo año por el Servicio Sismológico Nacional con una magnitud de 7.1 Mw y epicentro detectado en el límite entre los estados de Puebla y Morelos, localizado a 12 km de Axochiapan, Morelos (Servicio Sismológico Nacional, 2017). En este caso los estados más afectados

se localizaron en el centro del país con daños considerables en los estados de Puebla, Estado de México, Morelos, Tlaxcala, Guerrero y la Ciudad de México. La localidad de Jojutla de Juárez estuvo situada a 50 km del epicentro, ubicada en la zona de mayor intensidad sísmica registrada.

Estos eventos tuvieron un impacto considerable en el patrimonio arquitectónico del país, siendo especialmente destructivos con los edificios coloniales que constituyen gran parte de la cultura mexicana. En el caso del estado de Morelos las consecuencias fueron excesivas, puesto que fue el único estado en presentar un mayor porcentaje de daños severos que daños catalogados como medios o leves en sus monumentos afectados. Éstos supusieron un 47.10% del total; por poner en perspectiva, los siguientes estados en la lista fueron Ciudad de México y Puebla con 25.89 y 20.13% respectivamente (Meli Piralla, 2018).

CASO DE ESTUDIO: JOJUTLA DE JUÁREZ

Jojutla de Juárez fue la localidad más afectada del estado de Morelos, presentó graves daños estructurales y la pérdida de gran parte del patrimonio construido. Los edificios más vulnerables al sismo fueron las viviendas de adobe del centro histórico, en muchos casos llegaron al colapso y generaron daños irreparables (véase figura 4).

FIGURA 4

Daños en el centro de Jojutla



Fotografía: A. Sánchez-Calvillo, 2018.

Jojutla es un claro ejemplo de comunidad que olvidó y delegó las llamadas culturas sísmicas,

2. La escala sismológica de magnitud de momento, Mw, hace referencia a la cantidad de energía total liberada por un sismo.

un concepto extendido y aceptado en la investigación sísmica que designa la capacidad de resiliencia de las culturas para adaptarse a estos fenómenos y reducir los posibles daños mediante todo tipo de estrategias y variables de tipo constructivo (Jorquera, 2014; Ortega, Vasconcelos y Correia, 2018).

Al considerar la existente situación de riesgo y abandono de la arquitectura de tierra en México, la ocurrencia de sismos incrementa todavía más la pérdida de edificaciones de adobe. Estas construcciones se perciben como inseguras, poco resistentes, y además implican una baja concepción social, siendo típicas de las clases más pobres (Guerrero Baca, 2007). Sin embargo, éste no es un problema local de Morelos, ya que el resto de estados del país afectados por sismos en los últimos años han experimentado situaciones similares, y la correlación puede extenderse a todos los países latinoamericanos proclives a estos fenómenos naturales.

Es un hecho que los usuarios de viviendas tradicionales damnificadas prefieren iniciar una reconstrucción con nuevos materiales ofrecidos por las instituciones como compensación de los daños sufridos, a tratar de reparar los sistemas constructivos originales. Éste es uno de los mayores problemas a los que se enfrentan los expertos cuando trabajan con comunidades de este tipo, tratar de convencer de las bondades de la arquitectura tradicional y el impacto de los materiales modernos en el medio ambiente (Cornerstones Community Partnerships, 2006).

EL ESTUDIO HOLÍSTICO DE LA VIVIENDA DE ADOBE PARA DETERMINAR SU VULNERABILIDAD SÍSMICA

Todo problema de investigación debe encuadrarse dentro del marco de una teoría, para de este modo discernir cuál será la estrategia metodológica para seguir (Maletta, 2009) y desarrollar la argumentación del proceso. El objeto de estudio en este caso fueron las viviendas de adobe, y el fenómeno la vulnerabilidad sísmica de las

mismas. Al considerar este fenómeno como una afectación física de las edificaciones, es necesario estudiarlo tomando como base el territorio, el cual es el resultado de la relación entre medio físico y contexto cultural, en este caso del lugar en el que se edificaron las viviendas.

La vivienda es el resultado de la adaptación del ser humano al territorio mediante el aprovechamiento de los recursos naturales, por ello la importancia de relacionar el medio físico geográfico con la vivienda de adobe es tan pertinente. Estas relaciones que se establecen entre el objeto corporal (la vivienda) y el medio, responden a una lógica, una experiencia próxima como señala Geertz (1983), que se termina transformando en técnica.

Cuando hablamos de arquitectura tradicional, el concepto de técnica evoluciona en tecnología constructiva, que es la base del desarrollo humano materializado en las viviendas. Precisamente ésta es una de las mayores cualidades de estas edificaciones, la adaptación cultural, entendida como la integración y la interacción que hacen los seres humanos en un territorio (Niglio, 2015).

Por ello es necesario acercar la disciplina arquitectónica a su propio contexto, entendido tanto histórica como espacialmente, acercando la misma arquitectura a la historia y la geografía (López Núñez, 2009). Es mediante este acercamiento que los conceptos de cultura y vulnerabilidad sísmica cobran sentido y pueden llegar a ser entendidos correctamente.

Respecto a la vulnerabilidad, ésta permite valorar el riesgo determinado de que un objeto (en este caso la vivienda) sea más o menos susceptible de sufrir daños por un evento sísmico y poder cuantificarlos. La vulnerabilidad no depende únicamente del material de construcción o de cualquier otro parámetro singular, sino que es el resultado y validación de la relación entre diferentes variables, por lo que siempre será multifactorial y necesitará de metodologías que las incorporen para su conocimiento.

Los materiales de construcción cumplen un papel fundamental en las metodologías de análisis, al ser uno de los parámetros a estudiar y cuantificar,

asociando al adobe usualmente los valores más bajos de resistencia mecánica, debido a que como material no cuenta con la capacidad de carga de un tabique recocido o el concreto armado. Sin embargo, la arquitectura vernácula ha desarrollado una serie de estrategias antisísmicas que son difíciles de valorar numéricamente pero que han sido ampliamente documentadas (Jorquera, 2014; Ortega, Vasconcelos y Correia, 2018).

Encontramos un acercamiento a la tipología de construcción de adobe en la metodología aplicada por Preciado (2019) en Tlajomulco, Guadalajara; en el que se simplifica y adapta el método del índice de vulnerabilidad, reduciendo el número de parámetros (Preciado, Ramírez-Gaytán, Santos y Rodríguez, 2020).

A nivel particular, al delimitar una metodología únicamente para arquitectura vernácula, encontramos los trabajos de Ortega, que contemplan los sistemas constructivos de mampostería de piedra, adobe y tapial, entre otros (Ortega, Vasconcelos, Rodrigues, Correia y Da Silva Miranda, 2019).

ESTRUCTURA METODOLÓGICA

El presente trabajo de investigación centró sus esfuerzos en la localidad presentada, Jojutla de Juárez, en el estado de Morelos. El principal objetivo es comprender y analizar las causas de la vulnerabilidad sísmica y la consecuente pérdida de la arquitectura de tierra en la región; se reunió un equipo interdisciplinar de expertos en un esfuerzo conjunto por parte de las facultades de Arquitectura e Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo, con la inestimable colaboración de los expertos del Instituto Tecnológico de Zacatepec, que encabezaron las brigadas de salvamento inmediatamente después de los sismos. La limitación de la investigación quedó definida a la localidad de Jojutla debido a la singularidad del caso y a la marcada afectación respecto a los municipios colindantes.

La investigación se enfocó desde tres dimensiones distintas con el fin último de lograr un es-

tudio completo y correlacionar todos los factores implicados, siguiendo la visión holística de Chico Ponce de León (2000), que considera la investigación arquitectónica como una ciencia amplia que puede aprovechar diversas herramientas completas para solucionar los problemas planteados. Las tres vertientes de análisis fueron:

El análisis mediante sistemas de información geográfica para entender las relaciones entre el territorio y la vivienda, y la afectación y zonificación sísmica de las construcciones de Jojutla.

La revisión de los reglamentos constructivos y los planes de gestión de riesgo de la localidad y su correlación con la vulnerabilidad observada por los daños producidos por los sismos.

La caracterización de los materiales de construcción en laboratorio, concretamente los bloques de adobe como elemento base de la arquitectura de tierra.

Los sistemas de información geográfica (SIG) fueron empleados para la zonificación de los daños y así poder establecer patrones comunes en las edificaciones. Los SIG o GIS pueden definirse como “sistemas computacionales que permiten recolectar, almacenar, analizar y reproducir información georreferenciada” (Zhai, Chen y Ouyang, 2019). El uso de estos sistemas cada vez está más estandarizado y es de gran utilidad en todo tipo de trabajos científicos, destacando su reciente uso en investigaciones sobre vulnerabilidad sísmica, que es una de las líneas de interés del presente artículo. En México sobresalen las investigaciones recientes de Salazar y Ferreira (2020), que incorporan esta tecnología para mapear la vulnerabilidad de las edificaciones en distintos escenarios correspondientes a sismos de varias magnitudes. Estas tecnologías también pueden ser empleadas incluso en la representación gráfica en tres dimensiones de mapeos urbanos de riesgo y vulnerabilidad (Misosevic Ilic, Bento y Cattari, 2020).

En cuanto a la revisión de la normativa aplicable al patrimonio, esta metodología ha sido empleada en otros trabajos de investigación sobre contextos patrimoniales, lo cual ayuda a comprender cómo las políticas pueden incidir en

ellos (Paredes Avilés, Flor Granda y De la Cruz Arce, 2020). Otros países de Latinoamérica han identificado problemáticas respecto a la falta de regulación antisísmica de las construcciones de tierra (De Filippi, Pennacchio, Restuccia y Torres, 2020).

Otro de los principales problemas que acrecientan la vulnerabilidad sísmica es el desconocimiento o incumplimiento de las normativas, lo cual deriva en el fenómeno de la autoconstrucción. Galán y Jiménez (2018) relacionan los patrones socioculturales de las localidades con las malas prácticas constructivas y su consecuente deficiente desempeño ante eventos telúricos, como los ocurridos en el año 2016 en Nicaragua.

Respecto a la caracterización de los materiales de construcción, ésta es una disciplina fundamental para la metodología de investigación arquitectónica, al ser los componentes materiales una parte básica de la ciencia de la edificación. Estos ensayos aportan información muy valiosa que permite una mejor comprensión de la arquitectura, y son fundamentales en los estudios patrimoniales. Sin embargo, muchos de estos análisis carecen de un bagaje extenso en la caracterización de los materiales a base de tierra, al contar con escasos o nulos antecedentes de investigación, por ello la pertinencia de ensayar los adobes recolectados en Jojutla.

La recolección de las muestras se efectuó aproximadamente 10 meses después de los eventos sísmicos. Debido a la urgencia y las condiciones singulares por la reconstrucción de la zona, el criterio para la toma de datos consistió en obtener la mayor cantidad de material posible, dadas las circunstancias. Fueron recolectadas 11 muestras de adobes procedentes de viviendas afectadas por los sismos, además de otras muestras procedentes de suelos de la región y zonas de extracción y manufactura de los bloques.

En investigaciones previas de los autores se inquirió acerca de las propiedades de los materiales a partir de trabajo de caracterización, con lo que se lograron resultados sumamente interesantes sobre los adobes de la región, su comportamiento mecánico y sus propiedades físico-químicas

(Sánchez-Calvillo y otros, 2020; Sánchez-Calvillo y otros, 2020).

DESARROLLO Y RESULTADOS

La localidad de Jojutla mostró una microrregionalización sísmica (véase figura 5), puesto que varias de sus colonias experimentaron mayores daños durante los eventos. Principalmente fueron dos las zonas más afectadas: la colonia Centro, donde se encontraban los principales monumentos y las edificaciones más antiguas; y la colonia Zapata, de mucha más reciente creación, donde la mayoría de sus construcciones son a base de concreto. Ambas sufrieron el colapso de estructuras y la posterior pérdida de numerosos inmuebles.

El estudio geotécnico efectuado en la colonia Zapata concluyó en tres grandes razones para la acentuada vulnerabilidad: 1) malas prácticas constructivas; 2) resistencia insuficiente de los sistemas estructurales; 3) problemas derivados de los sistemas de cimentación (Del Campo Alatorre, Ochoa González y Álvarez Partida, abril 2018).³ El mismo informe detalla la estratigrafía del terreno, que consta de capas de arcillas intercaladas procedentes de depósitos fluviales y dos horizontes de travertino, características que dificultan la distribución de cargas. Tomando en cuenta que la región de estudio también cuenta con una fuerte tradición en el cultivo y producción de arroz, queda claro que los estratos donde se desplantaron las viviendas y monumentos de Jojutla no fueron los más indicados para la edificación.

3. El Comité de Colonos Emiliano Zapata de Jojutla solicitó este informe técnico al Departamento de Hábitat y Desarrollo de la Universidad ITESO de Guadalajara para obtener los datos de la mecánica de suelos de la colonia, debido al mal desempeño durante el sismo del 19 de septiembre de 2017.

FIGURA 5

Regionalización sísmica de Jojutla, Morelos, tras el sismo de Puebla de 2017



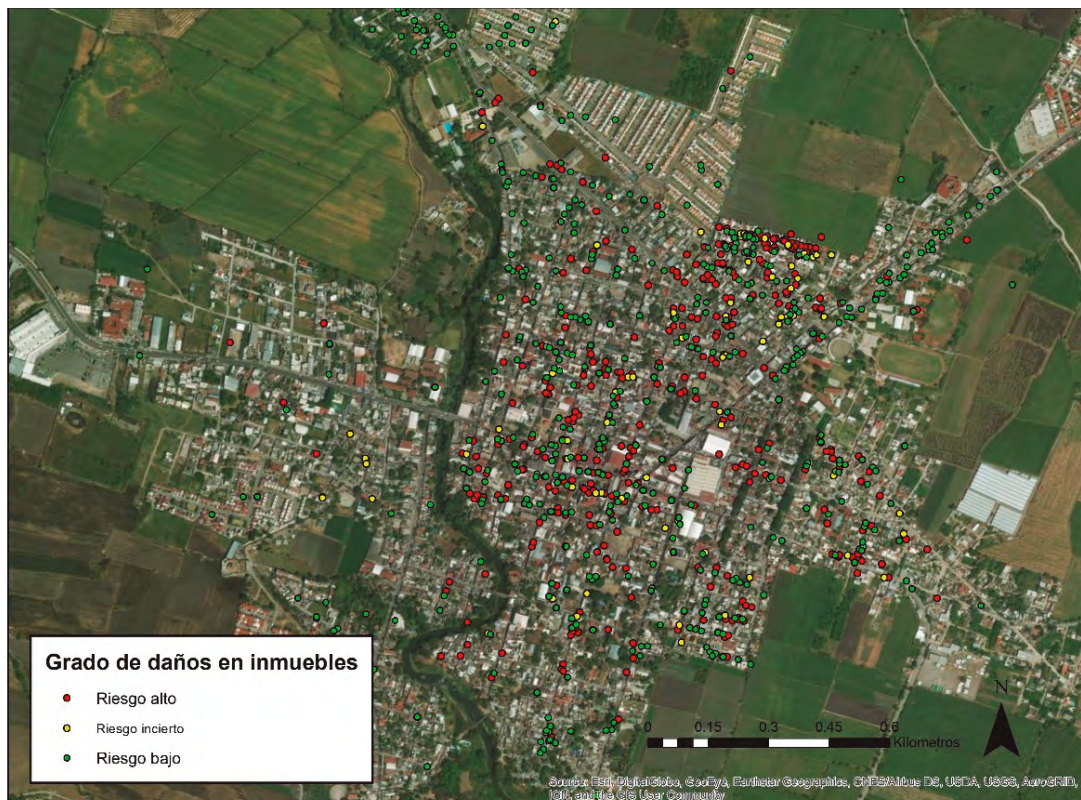
Fuente: Brigadas de emergencia, 2017, inédito.

La zonificación por daños en los inmuebles puede verse representada en la figura 6, con la georreferenciación de las viviendas en la imagen satelital de Jojutla según la gravedad simbolizada mediante una semaforización. Pueden observarse las zonas con mayor concentración de daños severos y aquellas que por el contrario sufrieron una menor afectación. La zonificación se elaboró según el reporte de las brigadas de emergencia efectuado entre el 21 de septiembre y el 16 de octubre del año 2017, en el cual se evaluaron los daños de 3,561 inmuebles. Los resultados mostraron que el 39.80% de las construcciones presentaron daños graves tras el sismo, el 52.25% presentó un riesgo bajo asociado a daños leves no estructurales, mientras que el 7.95% restante registró un nivel de riesgo incierto.

Para la realización de los ensayos de caracterización fue necesario el traslado a la localidad para la obtención del material, los trabajos de

FIGURA 6

Jojutla de Juárez: zonificación de los inmuebles dañados



Mapa elaborado por A. Sánchez-Calvillo (2020).
Fuente: Brigadas de emergencia, 2017, inédito.

prospección y el levantamiento fotográfico. La recolección de las muestras se efectuó aproximadamente 10 meses después de los eventos sísmicos, que provocaron grandes daños en todo el patrimonio edificado del municipio. Debido a la urgencia y las condiciones singulares por la reconstrucción de la zona, el criterio para la toma de datos consistió en obtener la mayor cantidad de material posible, dadas las circunstancias. Fueron recolectadas 11 muestras de adobes procedentes de viviendas afectadas por los sismos, además de otras muestras procedentes de suelos de la región y zonas de extracción y manufactura de los bloques.

Como puede observarse en la figura 7, las muestras fueron tomadas en la colonia Centro de Jojutla, una de las más afectadas por el sismo y la más antigua de la localidad, donde se sitúan la gran parte de construcciones monumentales, además de las viviendas tradicionales de adobe. Las muestras fueron etiquetadas, catalogadas y

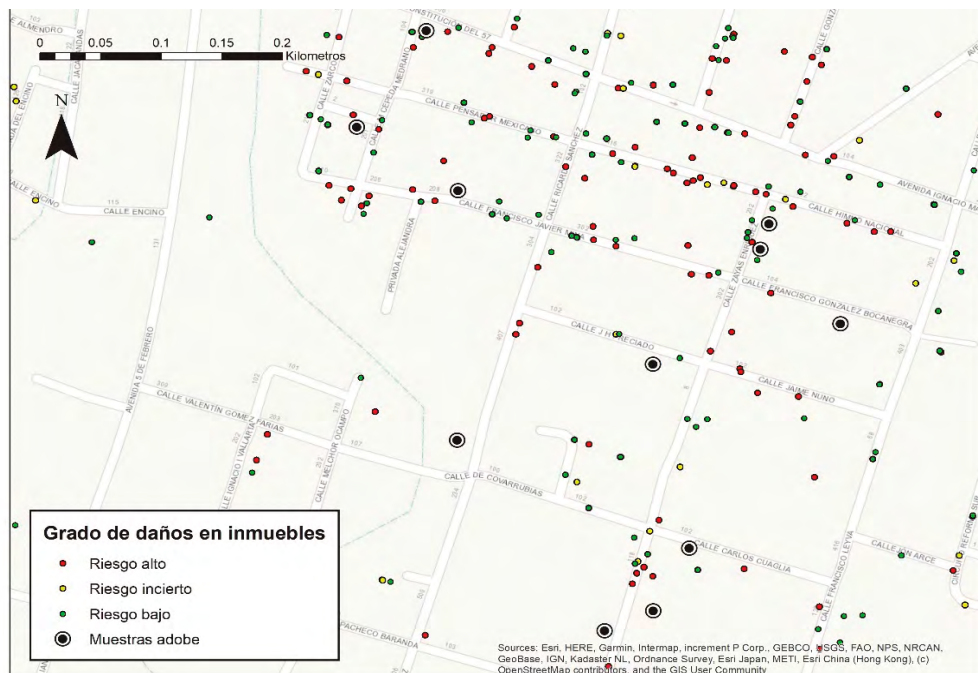
georreferenciadas; para posteriormente ser introducidos estos datos en ArcMap.

Tras el suceso de un sismo, a nivel de observación directa y prospección pueden deducirse características del comportamiento de las estructuras, al tratarse de situaciones no controladas a escala natural. Pueden observarse, medirse, calificar y cuantificar los tipos y modos de falla de las construcciones tras las solicitaciones dinámicas que implican los movimientos telúricos. Esto es extremadamente útil, ya que permite la planificación, diseño y redacción de nuevas normas para evitar escenarios futuros tan catastróficos para las poblaciones.

Respecto a la regulación de la edificación en Jojutla, la localidad cuenta con un reglamento de construcción publicado el año 2013; el principal criterio del mismo es: “Que la correcta ejecución material de las edificaciones e instalaciones es una obligación social, por lo que se requiere una aplicación técnica altamente calificada, en cuya elección se estima necesaria la intervención de

FIGURA 7

Localidad de Jojutla de Juárez: localización del muestreo de viviendas de adobe afectadas por el sismo y comparativa con la zonificación de daños



Mapa elaborado por A. Sánchez-Calvillo (2020).
Fuente: Brigadas de emergencia, 2017, inédito.

los profesionales y cámaras relacionados con la construcción” (Consejería Jurídica del Poder Ejecutivo del Estado de Morelos, 2013). Por razones obvias derivadas de la situación de emergencia sufrida en la población tras los eventos sísmicos, varios de los artículos y disposiciones del reglamento fueron incumplidos o pasados por alto; sin embargo, muchos de los artículos fueron vulnerados desde antes de los acontecimientos, lo que propició una situación de desconcierto y desorganización, con graves consecuencias en la población.

FIGURA 8

Vivienda severamente dañada tras el sismo con claras modificaciones al sistema constructivo original



Fotografía: A. Sánchez-Calvillo, 2018.

Revisando el artículo 52 del Reglamento de construcción, se establece que ciertas obras no necesitan licencia, como es el caso de los trabajos de resane y aplanados en cualquier tipo de estructura. La incompatibilidad entre los morteros de cemento y los muros de adobe es un factor conocido y documentado; y precisamente esta solución es muy común a nivel global, siempre con la consecuencia de la pérdida de estos aplanados tras periodos cortos de tiempo. Luis Guerrero (2020) documenta que:

[...] la incorporación de sustancias impermeables como “protección superficial” ha demostrado ser muy nociva para las obras realizadas con materiales porosos, como la piedra, el ladrillo, la cal,

la madera y, ante todo, la tierra; su presencia provoca la migración de sales solubles que cristalizan en las superficies de contacto, desarrollando fuerzas mecánicas de separación (Guerrero Baca, 2020: 135).

Este tipo de deterioros en la construcción pudo evidenciarse tras el sismo, que aceleró el proceso de degradación de los materiales y sistemas constructivos de muchas edificaciones, como se aprecia en la figura 9.

FIGURA 9

Separación de aplanado de cemento en muro de adobe



Fotografía: A. Sánchez-Calvillo, 2018.

Todas estas alteraciones y deficiencias constructivas fueron determinantes para contribuir a la alta vulnerabilidad sísmica de la localidad; sin embargo, el Reglamento de construcción del municipio contempla el diseño de las estructuras ante sismo, como bien indica el artículo 157: “Acciones a considerar en el diseño. En el diseño de toda estructura deberá tomarse en cuenta los efectos de las cargas muertas, de las cargas vivas, del sismo y del viento, cuando este último sea significativo”.

Sin embargo, en la misma norma existe un vacío legal enormemente importante respecto a los edificios históricos: “No será necesario revisar la seguridad de estructuras construidas antes del presente siglo si no han sufrido daños o inclinaciones significativos siempre que no se hayan modificado sus muros y otros elementos

estructurales ni se hayan incrementado significativamente las cargas originales”. En primer lugar, los aspectos a los que el artículo hace referencia son relativamente complicados de comprobar por alguien que no sea especialista en la materia; además no se maneja ninguna ordenanza para las inspecciones de las mismas.

Por otro lado, no se otorga la protección debida al patrimonio histórico arquitectónico del municipio, lo cual se tradujo en la destrucción de los principales monumentos de la comunidad, como puede apreciarse en la figura 10. Tampoco existen a la fecha programas que incentiven la conservación de los mismos, y los problemas sociales, económicos, demográficos inciden a los propietarios de los inmuebles a heredar a sus descendientes. Los descendientes buscan tener seguridad en su patrimonio y separarlo del núcleo común, lo cual da lugar al fenómeno de la subdivisión de las propiedades, muy común en México; el problema es que estas divisiones de los inmuebles no se regulan en función de la estabilidad estructural ante sollicitaciones dinámicas, sino que corresponden a motivos familiares y culturales.

FIGURA 10

Destrucción del templo mayor de Jojutla



Fotografía: A. Sánchez-Calvillo, 2018.

Respecto a los planes de gestión de riesgo en la localidad, en el momento del sismo de Puebla de 2017, Jojutla estaba sujeta al Plan Municipal de Desarrollo 2016-2018, emitido por el Ayuntamiento del municipio, que es el principal plan regulador existente. El documento cuenta con 93 agendas enfocadas en diferentes sectores como la economía, ecología, cultura, educación, etc.

Sin embargo, ninguno de los programas hace referencia a la gestión de riesgos naturales o a la vulnerabilidad de la población (Consejería Jurídica del Poder Ejecutivo del Estado de Morelos, 2016). Igualmente, no aparece ninguna mención a fenómenos naturales catastróficos como los sismos, inundaciones o incendios, que tanto han asolado a la región en los últimos años y que históricamente han tenido un gran impacto en la comunidad.

Anteriormente, en el documento se hacía mención del concepto de culturas sísmicas; al analizar las construcciones de Jojutla y los daños producidos por el sismo, puede afirmarse que en este caso la comunidad olvidó las estrategias ancestrales derivadas de la arquitectura vernácula. En cambio, en las viviendas originales se sustituyeron e incorporaron materiales y sistemas constructivos con una demostrada incompatibilidad respecto a los tradicionales, incrementando la vulnerabilidad sísmica de los edificios.

Algunas de las deficiencias constructivas que se identificaron en Jojutla y que contribuyeron a poner en riesgo las construcciones, fueron: la distribución deficiente de los vanos (puertas y ventanas), la falta de refuerzos estructurales horizontales, la ausencia de sistemas de diafragma entre los muros y la cubierta, muros con espesores insuficientes o reducidos, mala calidad y manufactura de los adobes, irregularidades en planta y en altura, incorporación de elementos no compatibles, entre otros. Todos estos factores han sido identificados en la construcción con tierra a nivel global (Yamín Lacouture, Phillips Bernal, Reyes Ortiz y Ruiz Valencia, 2007; Blondet, Vargas, Tarque e Iwaki, 2011), generando problemas en las edificaciones con la consecuencia última del colapso cuando se producen los sismos.

FIGURA 11

Colapso de estructura de adobe en Jojutla



Fotografía: A. Sánchez-Calvillo, 2018.

En cuanto a la caracterización de los adobes, fueron realizados estudios sobre el material dañado. En lo que respecta a los ensayos efectuados a las muestras recogidas, se realizaron pruebas de carácter no destructivo en primer lugar, posteriormente ensayos destructivos para obtener la resistencia mecánica de las piezas, y por último las pruebas de mecánica de suelos.

El análisis granulométrico indicó los porcentajes de material fino (limos y arcillas)⁴ presentes en los bloques, quedando comprendidos en un rango de valores 15-40% (véase figura 12), que concuerda con los valores indicativos que establece la literatura sobre arquitectura de tierra (Martins Neves, Borges Faria, Rotondaro, Cevallos Salas y Hoffmann, 2009). La mayoría de muestras de adobe tenían curvas granulométricas parecidas, lo que evidencia un saber-hacer o construir en la región, puesto que no se emplearon cantidades excesivas de arcillas ni arenas o gravas de gran diámetro en la fabricación de los mampuestos.

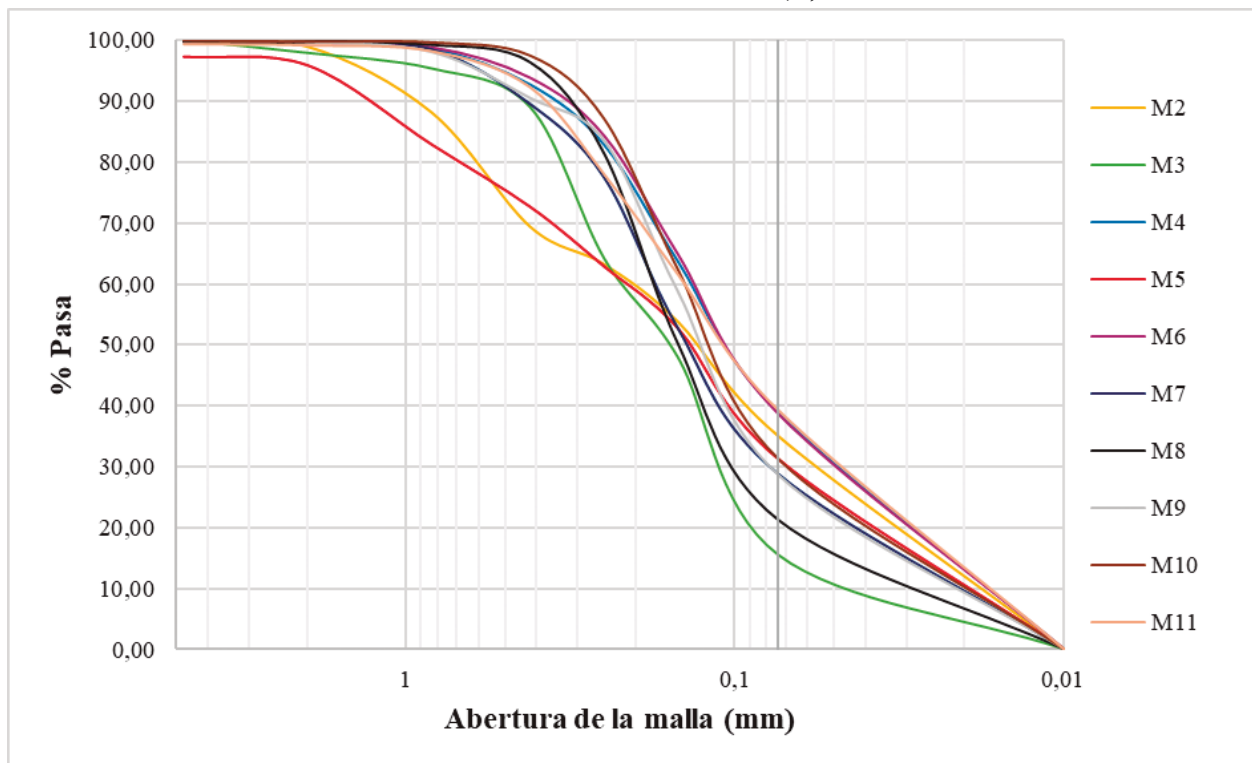
Además, se realizó un trabajo de separación, caracterización y análisis de las fibras vegetales presentes en los adobes, lo cual comprueba que

en muchas de las muestras no se añadió ninguna cantidad de estos materiales, que es una práctica muy común en estos sistemas constructivos (Sánchez-Calvillo y otros, 2020); en este caso sí se presenta un evidenciable síntoma de la pérdida de la tradición constructiva en la localidad, pues al obviarse completamente la adición de fibras a la mezcla se generan graves problemas de fisuración en las piezas y una consecuente disminución de la capacidad mecánica.

Los análisis de microscopía confirmaron que las arcillas presentes en los mampuestos son illitas, arcillas expansivas muy útiles para la construcción, debido a que tienen un comportamiento menos variable que otras arcillas comunes en la edificación en México como son las montmorillonitas; esto se reduce en una mejor presencia ante el contacto con el agua. Estos análisis también indicaron la presencia de material lítico en los adobes, además de estabilizantes y otros agregados (Sánchez-Calvillo y otros, 2020). En la figura 14 puede apreciarse la presencia de calcio en un mapeo estratégico del mismo elemento por microscopía electrónica de barrido con análisis por energía dispersiva (SEM-EDS), lo que confirma el uso de cal como estabilizante en la producción de los adobes de Jojutla. La cal cuenta con un importante e histórico uso en los sistemas constructivos de tierra debido a los cambios beneficiosos que genera tanto inmediatamente como a largo plazo (Navarro Mendoza, Sánchez Calvillo y Alonso Guzmán, 2019), como la mejora de la trabajabilidad y la disminución de los cambios volumétricos de las arcillas, que son algunos de los principales inconvenientes de la tierra como material constructivo.

4. En la mecánica de suelos se hace distinción entre suelos finos, que comprenden los limos y las arcillas, pasando la malla 200, y suelos gruesos, que comprenden las arenas y las gravas.

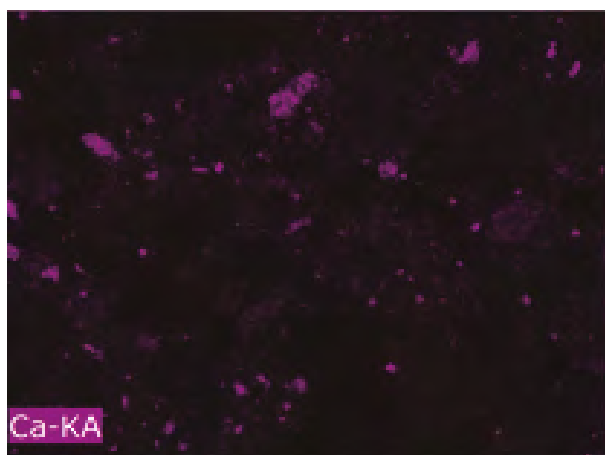
FIGURA 12
Granulometría fina de adobes de Jojutla



Fuente: gráfica elaborada por A. Sánchez-Calvillo (2020).

FIGURA 13

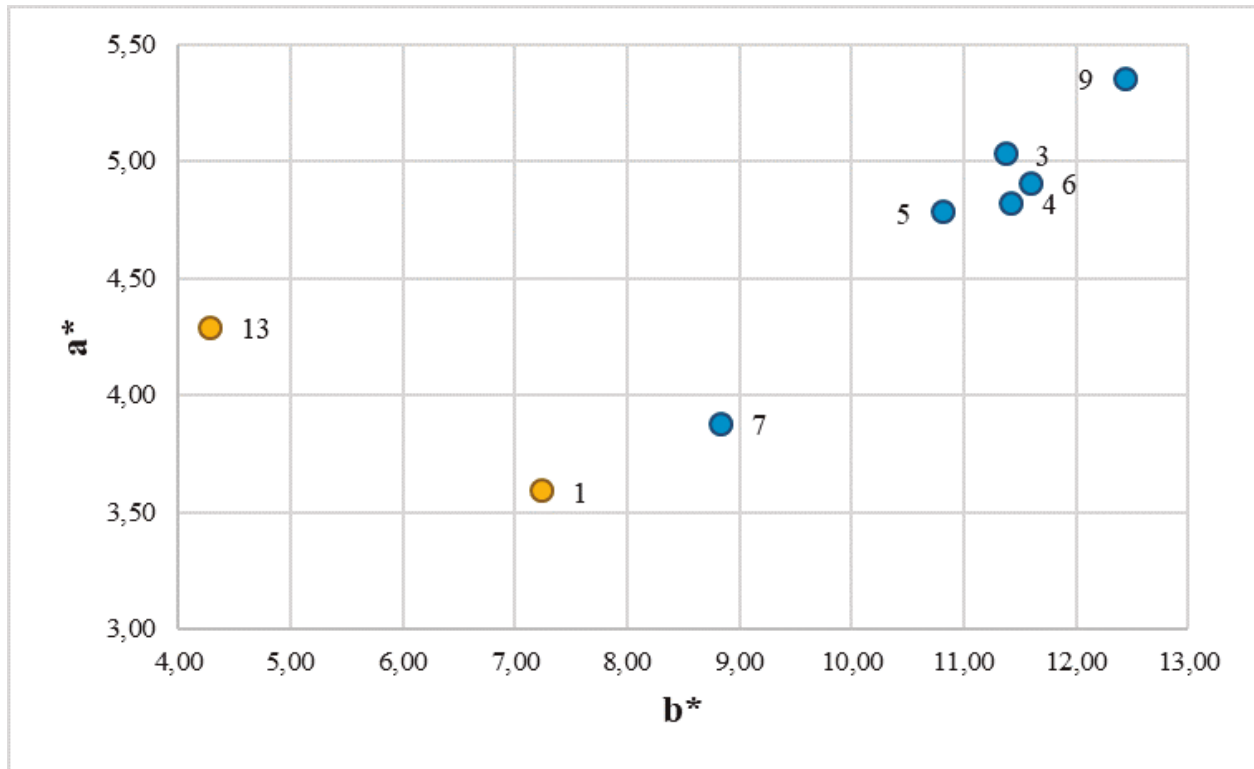
Mapeo estratégico elemental de calcio por microscopía electrónica de barrido con análisis por energía dispersiva (SEM-EDS)



Los resultados de las pruebas de colorimetría permitieron corroborar que los adobes fueron estabilizados mediante la adición de cal, ya que se encontró un cambio cromático claro entre las muestras de suelos inalterados y los bloques de adobe muestreados tras el sismo (Sánchez-Calvillo y otros, 2020), hecho que pudo corroborarse mediante previas investigaciones en las que se estabilizaron arcillas con distintos componentes para observar sus cambios en el color (Martínez y otros, 2018). Los resultados de colorimetría además coincidieron con los de granulometría y límites de Atterberg, ya que confirmaron el cambio de alta a baja plasticidad del material.

FIGURA 14

Valores colorimétricos de adobes (azul) y suelos no alterados (amarillo) de Jojutla con base en el sistema CIE



Fuente: Sánchez-Calvillo y otros, 2020.

CONCLUSIONES

Jojutla de Juárez presentó altos índices de vulnerabilidad ante riesgos de origen natural, resultando en la pérdida del patrimonio edificado tras el sismo de Puebla de 2017, evento que tuvo un enorme impacto en la comunidad en todos los niveles. Pueden identificarse dos problemas principales respecto a la administración del fenómeno: por un lado, la escasez de estudios científicos sobre vulnerabilidad y riesgo ante fenómenos naturales en la región; por otro, la ausencia de planes de gestión de riesgos en el municipio, que son completamente necesarios y deberían haber existido mucho antes de la ocurrencia de los sismos.

La justificación de trabajos de investigación enfocados en comprender, analizar, cuantificar y en última instancia reducir la vulnerabilidad sísmica de poblaciones propensas a sufrir este tipo de acontecimientos es clara y necesaria. En

los últimos años, en parte debido al suceso de eventos de gran magnitud a nivel mundial y su cobertura mediática, siempre tratada diligentemente por los medios de comunicación debido a su espectacularidad, la investigación referente a estos temas ha crecido por el interés manifiesto de la conservación de la vivienda vernácula y sus implicaciones de construcción sostenible y confort térmico, entre otras ventajas, dando lugar a un aumento en la producción de trabajos académicos, que ha sido notable.

Sin embargo, con gran certeza Blondet (2011) indica que la memoria sísmica funciona a corto plazo, y el riesgo sólo se percibe fuertemente tras los primeros años de la ocurrencia de un evento considerable, tendiendo a delegarse y olvidarse con el paso del tiempo. Un reflejo de la gestión en cuanto al asunto de la vivienda en Jojutla fue la situación que vivieron las familias, que muchos meses después del sismo todavía se alojaban en instalaciones de emergencia (véase figura 15).

FIGURA 15
Tienda de salvamento y
ayuda humanitaria en Jojutla



Fotografía: A. Sánchez-Calvillo, 2018.

Por estos motivos es necesario reforzar la investigación sobre esta cultura constructiva a todos los niveles, incluyendo expertos de diferentes disciplinas para lograr estudios completos que permitan entender el comportamiento de los edificios de tierra ante movimientos sísmicos, pero a la vez entender la evolución de la arquitectura vernácula y su significación en el desarrollo de los pueblos y su propia identidad.

En cuanto a la ciencia de materiales, queda claro que es necesario reforzar la investigación de los materiales y sistemas constructivos tradicionales, tanto por cuestiones culturales como por el impacto en la sostenibilidad. Muchos ensayos de laboratorio no están normados para la arquitectura de tierra, y los motivos corresponden únicamente a la falta de interés en estudiar estos materiales.

En el presente trabajo se emplearon tanto pruebas de caracterización comunes en el estudio de los materiales de construcción, como otras de carácter novedoso en bloques de adobe, como la colorimetría, que pudo ayudar a corroborar la estabilización de los adobes, cambiando las propiedades plásticas y cromáticas de las arcillas. El resto de pruebas mostradas permitió corroborar la hipótesis además de arrojar interesantes datos sobre la composición, origen y manufacturación

de los bloques. Queda patente que es necesario extender la investigación a nivel material de los sistemas constructivos de tierra, debido a que existe un número aún bajo de publicaciones que aborden la problemática, lo que consecuentemente causa una falta de criterio a la hora de aplicar una metodología en la caracterización de los adobes. En este supuesto, es necesario continuar con estas investigaciones para poder lograr una metodología completa de trabajo para la caracterización de estos sistemas constructivos.

Respecto a la revisión de la normativa existente, cabe destacar que la mayoría de las viviendas de adobe existentes en Jojutla fueron construidas con anterioridad a los sismos de 1985 y de 2017, por lo tanto no se diseñaron con las especificaciones correspondientes. Igualmente, la construcción con tierra en México no está normada y únicamente se cuenta con ciertas recomendaciones difíciles de acceder para los usuarios y constructores no especializados. En las visitas de campo realizadas junto a los expertos del Instituto Tecnológico de Zacatepec pudo observarse una gran alteración de la vivienda tradicional, con la incorporación de sistemas y materiales no compatibles y severas modificaciones de las construcciones originales; aspectos que han sido probados como ineficientes y de riesgo ante solicitaciones sísmicas (Yamín Lacouture, Phillips Bernal, Reyes Ortiz y Ruiz Valencia, 2007; Blondet, Vargas, Tarque e Iwaki, 2011).

A nivel constructivo, y a partir de la observación, prospección, trabajo mediante sistemas de información geográfica y levantamiento fotográfico, pudieron observarse numerosas deficiencias constructivas y malas prácticas en la localidad. Las viviendas con mayor antigüedad sustituyeron parte de los materiales y sistemas tradicionales por nuevos componentes que no fueron bien ejecutados y de los que se conoce una mala compatibilidad con los primeros. Debido a la mala respuesta que experimentaron estos inmuebles alterados, se generó una desconfianza de los usuarios respecto a las técnicas tradicionales como la mampostería de adobe, provocando

su denostación y la reconstrucción de la localidad mediante materiales industrializados.

Otros estudios de la arquitectura vernácula de la región, como los realizados por Ríos Ramírez y Porcayo Victoriano (2019), manifiestan la desaparición de esta arquitectura y de los oficios tradicionales derivados, perdiéndose esta cultura edilicia tan representativa del territorio. Sin embargo, también hacen una revalorización de aquellas localidades del estado de Morelos que han conservado sus viviendas vernáculas y sus modos de vida, manifestando una mejor respuesta a los sismos de 2017. Guerrero Baca (2019) también expone una postura similar, recalcando la subsistencia de edificaciones muy poco alteradas en el mismo estado de Morelos tras el sismo de 2017. A nivel global, en los últimos años se ha extendido una tendencia a recuperar y potenciar estas técnicas entre las comunidades locales (Ortega, Vasconcelos y Correia, 2018), que es una excelente estrategia para el refuerzo sísmico de las edificaciones vernáculas. Sin embargo, sigue siendo necesario destinar esfuerzos a comprender mejor estas construcciones, con un especial énfasis en el análisis de los materiales que conforman esta arquitectura, ya que actualmente son pocos los trabajos de investigación que aborden la problemática con un enfoque integral.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo agradecen el apoyo del Departamento de Posgrado de la Facultad de Arquitectura y a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo por el trabajo conjunto realizado y la gestión del mismo. Igualmente, expresan su gratitud al personal del Laboratorio de Materiales Ing. Luis Silva Ruelas de la Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo, y a los jóvenes PIC David Preciado Vilcaña y Melissa Ruiz Mendoza, por su soporte técnico en el transcurso de esta investigación.

Al maestro Osvaldo de la Paz Soto Talavera, el maestro Carlos Bustos Mejía, y al Instituto Tecnológico de Zacatepec por su colaboración,

asesoría y hospitalidad durante la estancia en el estado de Morelos.

La investigación no habría sido posible sin el apoyo económico del Conacyt, del Promep/Prodep de la SEP, la Coordinación de Investigación Científica de la UMSNH.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blondet, M. (2011). Mitigation of Seismic Risk on Earthen Buildings. En H. Gökçekus, U. Türker, y J. W. LaMoreaux, *Survival and Sustainability. Environmental Concerns in the 21st Century* (pp. 391-400). Berlín: Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-95991-5>
- Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N., e Iwaki, C. (2011, julio-septiembre). Construcción sismorresistente en tierra: La gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú. *Informes de la Construcción*, 63(523): 41-50. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic>
- Chardon, A. C. (2008). Amenaza, vulnerabilidad y sociedades urbanas: Una visión desde la dimensión institucional. *Gestión y Ambiente*, 11(2): 123-135.
- Chico Ponce de León, P. A. (2000). *Transformaciones y evolución de la arquitectura religiosa de Yucatán durante los siglos XVII y XVIII. (La metodología de investigación histórica de la arquitectura y el urbanismo en un caso de estudio)*. Tesis doctoral. Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Consejería Jurídica del Poder Ejecutivo del Estado de Morelos. (2013). *Reglamento de construcción para el municipio de Jojutla, Morelos*. Consejería Jurídica del Poder Ejecutivo del Estado de Morelos, Dirección General de Legislación. Subdirección de Informática Jurídica. Jojutla de Juárez, México: H. Ayuntamiento Constitucional de Jojutla, Morelos.
- . (2016). *Plan Municipal de Desarrollo 2016-2018, del Ayuntamiento de Jojutla, Morelos*. Dirección General de Legislación, Subdirección de Jurisprudencia. Jojutla de Juárez, México: Ayuntamiento Constitucional de Jojutla, Morelos.

- Cornerstones Community Partnerships. (2006). *Adobe conservation: A preservation handbook*. Santa Fe, New Mexico: Sunstone Press.
- Costa, C., Cerqueira, Â., Rocha, F., y Velosa, A. (2019). The sustainability of adobe construction: Past to future. *International Journal of Architectural Heritage*, núm. 13, pp. 639-647. doi: <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1459954>
- De Filippi, F., Pennacchio, R., Restuccia, L., y Torres, S. (2020). Towards a sustainable and context-based approach to anti-seismic retrofitting techniques for vernacular adobe buildings in Colombia. *Int. Arch. Photograph. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, núm. XLIV-M-1-2020, pp. 1089-1096. doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xliv-m-1-2020-1089-2020>
- Del Campo Alatorre, R. M., Ochoa González, G. H., y Álvarez Partida, F. (2018, abril). *Estudio geotécnico de la colonia Emiliano Zapata, Jojutla, Morelos, tras los daños de los sismos del 19 de septiembre de 2017*. ITESO, Universidad Jesuita de Guadalajara-Departamento de Hábitat y Desarrollo Urbano.
- F. Salazar, L. G., y Ferreira, T. M. (2020). Seismic Vulnerability Assessment of Historic Constructions in the Downtown of Mexico City. *Sustainability*, 12(3). doi: 10.3390/su12031276
- Galán Gaitán, M., y Jiménez Miranda, K. P. (2018). Patrones socioculturales en las prácticas constructivas habitacionales y su influencia en la vulnerabilidad sísmica: Caso de estudio de la localidad Puerto Momotombo, municipio de La Paz Centro, departamento de León, Nicaragua, 2017. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, núm. 3, pp. 47-62. doi: <https://doi.org/10.32870/rvcs.voi3.35>
- Geertz, C. (1983). *Conocimiento local. Ensayos sobre la interpretación de las culturas*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica.
- Guerrero Baca, L. F. (2007). La pérdida de la arquitectura de adobe en México. *ICOMOS World Report 2006-2007 on Monuments and Sites in Danger* (pp. 112-114). Altenburg, Alemania: E. Reinhold-Verlag.
- . (2011, junio). Pasado y porvenir de la arquitectura de tapia. *Bitácora Arquitectura*, núm. 22, pp. 6-13. doi: <http://dx.doi.org/10.22201/fa.14058901p.2011.22.25519>
- . (2019, enero-julio). Comportamiento sísmico de viviendas tradicionales de adobe, situadas en las faldas del volcán Popocatepetl, México. *Gremium*, 6(11): 105-118.
- . (2020). El uso de tierra modelada en la intervención de componentes constructivos de adobe. *Intervención*, 11(22): 133-160. doi: 10.30763//Intervencion.236.v2n22.15.2020
- Heathcote, K. A. (1995). Durability of earthwall buildings. *Construction and Building Materials*, 9(3): 185-189. doi: 10.1016/0950-0618(95)00035-E
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2000). *XII Censo General de Población y Vivienda 2000*. México: INEGI.
- . (2015). *Encuesta Intercensal 2015*. México: INEGI.
- Jorquera, N. (2014). Culturas sísmicas: Estrategias vernaculares de sismorresistencia del patrimonio arquitectónico chileno. *Arquitecturas del Sur*, XXXII(46): 18-29.
- López Núñez, M. d. (2009). *Los espacios para la producción y la estructuración del territorio en la región de Valladolid. Una interpretación de la concepción del espacio en el Michoacán virreinal*. Tesis de Doctorado en Geografía. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México-División de Estudios de Posgrado-Geografía.
- Maletta, H. (2009). *Epistemología aplicada: Metodología y técnica de la producción científica*. Lima: Universidad del Pacífico/Consortio de Investigación Económica y Social/Centro Peruano de Estudios Sociales-Centro de Investigación.
- Martínez, W., Torres-Acosta, A. A., Alonso-Guzmán, E. M., Chávez, H. L., Lara, C., Bedolla, A., ... y Ruvalcaba, J. L. (2018, mayo-agosto). Colorimetry of clays modified with mineral and organic additives. *Revista ALCONPAT*, 8(2): 163-177.
- Martins Neves, C. M., Borges Faria, O., Rotondaro, R., Cevallos Salas, P., y Hoffmann, M. V. (2009). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra (prácticas de campo)*. Proterra.
- Meli Piralla, R. (2018). La ingeniería civil ante los efectos de los sismos de 2017 en los edificios patrimoniales (el equilibrio entre la autenticidad y la seguridad). *Sismos y patrimonio cultural. Testimonios, enseñanza y desafíos, 2017 y 2018* (pp. 62-81). Ciudad de México: Secretaría de Cultura-Dirección General de Publicaciones.
- Misosevic Ilic, J., Bento, R., y Cattari, S. (2020). 3D GIS representation for supporting seismic mitigation policies at urban scale: The case

- study of Lisbon. *Journal of Cultural Heritage*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.04.001>
- Navarro Mendoza, E. G., Sánchez Calvillo, A., y Alonso Guzmán, E. M. (2019). Estabilización de suelos arcillosos con cal para firmes y blocks. En C. Neves, Z. Salcedo Gutiérrez, y O. Borges Faria (ed.), *19º Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra* (pp. 284-291). San Salvador, El Salvador: Fundasal/Proterra.
- Niglio, O. (2015). *El valor del patrimonio cultural entre extremo Oriente y extremo Occidente* (1ª edición, vol. Essempi di Valore 4). Roma: ARACNE Editrice.
- Ortega, J., Vasconcelos, G., Rodrigues, H., Correia, M., y Da Silva Miranda, T. F. (2019). Development of a Numerical Tool for the Seismic Vulnerability Assessment of Vernacular Architecture. *Journal of Earthquake Engineering*. doi: <https://doi.org/10.1080/13632469.2019.1657987>
- Ortega, J., Vasconcelos, G., y Correia, M. R. (2018). Seismic-resistant building practices resulting from Local Seismic Culture. En M. R. Correia, P. B. Lourenço, y H. Varum (eds.), *Seismic Retrofitting: Learning from Vernacular Architecture* (pp. 17-22). Londres: Taylor & Francis Group.
- Paredes Avilés, F. L., Flor Granda, M. V., y De la Cruz Arce, G. M. (2020). Pérdida del patrimonio edificado de los Chimbos en la provincia de Bolívar, ciudad de Guaranda, Ecuador. Recomendaciones para su conservación. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, núm. 7, pp. 31-46. doi: <https://doi.org/10.32870/rvcs.voi7.124>
- Preciado, A., Ramírez-Gaytán, A., Santos, J. C., y Rodríguez, O. (2020). Seismic vulnerability assessment and reduction at a territorial scale on masonry and adobe housing by rapid vulnerability indicators: The case of Tlajomulco, Mexico. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, núm. 44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ij-drr.2019.101425>
- Ríos Ramírez, G., y Porcayo Victoriano, C. (2019). Vivienda vernácula: La transformación a través de sistemas constructivos y tipología, Hueyapan, México. En C. Neves, Z. Salcedo Gutiérrez, y O. Borges Faria (ed.), *19º Seminario iberoamericano de arquitectura y construcción con tierra: Conservación sostenible del paisaje, tierra y agua* (pp. 516-521). San Salvador, El Salvador: Fundasal/Proterra.
- Salazar González, G. (2011). Las lecturas del espacio habitable. En G. Salazar González, E. M. Azevedo Salomao, C. R. Ettinger McNulty, B. Paredes Guerrero, y L. A. Torres Garibay, *Lecturas del espacio habitable* (pp. 7-18). San Luis Potosí, México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Sánchez-Calvillo, A., Alonso-Guzmán, E. M., Ruvalcaba-Sil, J. L., Martínez-Molina, W., Chávez-García, H. L., Bedolla-Arroyo, J. A., ... y Velázquez-Pérez, J. A. (2020). Colorimetry of Clays as a Tool to Identify Soil Materials for Earthen Buildings Restoration. *Key Engineering Materials*, núm. 862, pp. 56-60. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.862.56>
- Sánchez-Calvillo, A., Preciado-Villicaña, D., Navarro-Mendoza, E. G., Alonso-Guzmán, E. M., Chávez-García, H. L., Ruiz-Mendoza, M., y Martínez-Molina, W. (2020). Analysis and characterisation of adobe blocks in Jojutla de Juárez, Mexico. Seismic vulnerability and loss of the earthen architecture after the 2017 Puebla Earthquake. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, núm. XLIV-M-1, pp. 1133-1140. doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xliv-m-1-2020-1133-2020>
- Servicio Sismológico Nacional. (2017). *Reporte especial. Sismo de Tehuantepec (2017-09-07 23:49 Mw 8.2)*. UNAM, Grupo de trabajo del Servicio Sismológico Nacional. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- . (2017). *Reporte especial. Sismo del día 19 de septiembre de 2017, Puebla-Morelos (M 7.1)*. UNAM, Grupo de trabajo del Servicio Sismológico Nacional. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Spence, R. (2009). Earthquake Risk Mitigation: The Global Challenge. En A. Tugrul Tankut (ed.), *Earthquakes and Tsunamis. Civil Engineering Disaster Mitigation Activities Implementing Millennium Development Goals* (Vols. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering, pp. 35-52). Middle East Technical University, Ankara, Turquía: Springer. doi: [10.1007/978-90-481-2399-5](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2399-5)
- Yamín Lacouture, L. E., Phillips Bernal, C., Reyes Ortiz, J. C., y Ruiz Valencia, D. (2007). Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. *Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural*, 20(2): 286-303.

Zhai, Y., Chen, S., y Ouyang, Q. (2019). GIS-Based
Seismic Hazard Prediction System for Urban

Earthquake Disaster Prevention Planning. *Sus-
tainability*, núm. 11. doi: 10.3390/su11092620