

5. Control de calidad en adobes: caso de estudio Zirahuén, Michoacán



YAZMÍN GUADALUPE ROJAS OLAYO*

MARCO ANTONIO MONDRAGÓN ORNELAS**

JUDITH ALEJANDRA VELÁZQUEZ PÉREZ***

ADRIÀ SÁNCHEZ CALVILLO****

FABRICIO ALÍ HERNÁNDEZ FERREYRA*****

MAURICIO ARREOLA SÁNCHEZ*****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.300.05>

Resumen

La demanda por conservar y crear edificaciones ha incrementado a través de los años, pero esta necesidad no solo ha sido en cantidad, sino también en calidad, en la compatibilidad con el medioambiente y en la economía de los materiales de construcción. Conservar y restaurar edificios históricos son acciones indispensables para los vestigios que indican un antes y un después en la industria de la construcción.

La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), a través de la Facultad de Ingeniería Civil, cuenta con un laboratorio de materiales equipado con instrumentos especializados para examinar las propiedades

* Ingeniera Civil. Técnica-laboratorista del Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”, México. Correo electrónico: yazmin.rojas@umich.mx

** Maestro en Infraestructura del Transporte. Académico del Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”, México.

*** Maestra en Ciencias en Ingeniería Ambiental. Profesora-investigadora de la Facultad de Ingeniería Civil Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9342-8580>

**** Doctor en Arquitectura. Investigador posdoctoral en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3653-8000>

***** Ingeniero Civil. Estudiante de la Maestría en Ciencias de Ingeniería Ambiental de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4939-5111>

***** Doctor en Ciencias en Ingeniería Química. Profesor-investigador de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4105-5281>

de diferentes materiales de la construcción; uno de sus objetivos principales es diseñar y analizar materiales que tengan un menor impacto ambiental y una menor cantidad de energía, sin poner en riesgo las edificaciones. En este caso el laboratorio intervino en el proceso de caracterización y pruebas de calidad en adobes de dos proveedores distintos para la restauración de la Parroquia del Señor del Perdón en Zirahuén, México. Este análisis también apoyará al sector vulnerable de la comunidad, permitiéndoles construir con materiales locales y de calidad a un menor costo de producción.

Palabras clave: *caracterización de materiales, patrimonio arquitectónico, construcción con tierra, conservación.*

Introducción

México cuenta con edificaciones antiguas construidas con adobe, las cuales son consideradas patrimonio nacional de acuerdo con el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). Estas obras arquitectónicas narran el contexto histórico y natural del lugar, son testimonio de técnicas ancestrales y materiales usados los cuales deben ser analizados para la restauración. Pese a que en México no existen normas para revisar la calidad de los adobes, los resultados se compararon con diferentes investigaciones que ostentan parámetros en materiales similares.

Esta investigación documenta el apoyo de la UMSNH para ejecutar el control de calidad de la restauración de la Parroquia del Señor del Perdón en Zirahuén, Michoacán, al realizar un análisis físico-mecánico de adobes de dos diferentes proveedores de la región. El Laboratorio de Materiales de la FIC-UMSNH realizó las siguientes pruebas: velocidad de pulso ultrasónico, colorimetría, compresión simple y módulo de elasticidad; las cuales son de importancia para medir la calidad de los adobes, ya que indican si las piezas son viables para emplearse en la edificación y así mismo dar la propuesta más factible. Una vez analizados los resultados de ambos grupos, se concluye que son aptos para su utilización, lo que demuestra la importancia que pueden tener las universidades en las gestiones de conservación de nuestro patrimonio.

Desarrollo

En las últimas décadas el estudio de materiales ecoeficientes ha ido en aumento debido a la preocupación del daño ambiental que genera el crecimiento poblacional con los materiales actuales como el cemento (Carreira et al., 2021), debido a que la producción de dicho material es responsable del 8 % de las emisiones de CO₂ totales (Rodgers, 2018).

Unos de los materiales que llama la atención de los investigadores como posible reemplazo de los contaminantes en la construcción son los suelos, debido a que son materiales reciclables, abundantes en el país, no contaminan y requieren poca energía para su uso y/o extracción (Carreira et al., 2021).

En la antigüedad gran parte de las culturas utilizaban la tierra para crear construcciones como viviendas, monumentos, obras religiosas, construcciones de defensa, entre otras más (Gatti, 2012). La tierra o suelo ha sido uno de los materiales más antiguos que se ha utilizado para realizar construcciones más estables en climas cálidos o tropicales. Se han descubierto edificaciones con bloques de tierra que datan del 8000 al 6000 a. C. en Turquestán y otros con menos antigüedad en Asiria alrededor del 4000 a. C. (Minke, 2006). “El adobe como material de construcción para uso habitacional ha sido utilizado por miles de años por los pueblos indígenas de América, tanto en el suroeste de los Estados Unidos como en Mesoamérica y la región andina en Sudamérica” (Gama et al., 2012).

Elaborar piezas de adobe suele ser más común en países o regiones de escasos recursos debido a su bajo costo de elaboración y accesibilidad, comparado con países industrializados donde la producción de estos podría incrementar su precio (Minke, 2006). Aunque muchos países que aún se encuentran en desarrollo y donde el material abunda, siguen utilizando estas técnicas en virtud de que los adobes cuentan con magníficas cualidades térmicas y acústicas (Blondet et al., 2006), ya que los muros elaborados con este material demuestran la capacidad para conservar calor y equilibrar la humedad del aire dentro de las edificaciones (Eslami et al., 2022). Una de las adiciones que hace que los adobes sean térmicos es la incorporación

de fibras naturales como la paja, la hoja de pino o la fibra de palma (Ashour et al., 2015).

Las piezas hechas de tierra tienen ventajas, pero también tienen una baja resistencia a la compresión y al agua, en comparación con un ladrillo de barro rojo recocido. Aunque se puede agregar algún aditivo o estabilizador para mejorar estas propiedades como la cal, el cemento o alguna fibra natural (Bahobail, 2012), sin embargo, es preferible no usar el cemento por el impacto ambiental que genera al ser elaborado (Eslami et al., 2022). Una excelente alternativa es la fibra natural ya que también funciona como refuerzo y ayuda a perfeccionar las propiedades térmicas y estáticas, como se ha mencionado anteriormente (Ashour et al., 2015).

Debido a las propiedades naturales del material como su comportamiento frágil, poca resistencia, masa elevada de las piezas y resistencia limitada a la tracción, los adobes pueden sufrir deterioros estructurales extremos, lo que puede provocar el colapso del inmueble y en casos severos pérdidas humanas y económicas, si las estructuras elaboradas con adobe no se refuerzan adecuadamente (Oliveira et al., 2012).

Una de las propiedades que más afecta es la baja resistencia a compresión, esta contribuye a que sean más vulnerables a fenómenos naturales como sismos y lluvias fuertes. Los daños más severos en edificaciones con adobe son cuando ocurre un movimiento sísmico brusco, causados por su gran peso, baja resistencia y fragilidad (Baquedano et al., 2021). “Todos los terremotos importantes que han ocurrido en regiones donde la construcción de adobe es común, han producido una trágica pérdida de vidas y daños materiales considerables” (Blondet et al., 2006).

Sin embargo, cabe mencionar que los obstáculos para el uso extendido del adobe y la construcción con tierra en general no se limitan únicamente a cuestiones técnicas o a las propiedades mecánicas del material. Morel et al. (2021) identifican barreras técnicas, económicas, organizacionales, ambientales, sociológicas y políticas; para mostrar cómo la vulnerabilidad y baja apreciación de la tierra es un fenómeno multifactorial. Muchas de estas situaciones han sido documentadas y expuestas a nivel nacional (Hastings y Guerrero, 2020; Sánchez et al., 2021), para mostrar como la pérdida de las tradiciones constructivas y los conocimientos técnicos, juegan un papel esencial en la pérdida del patrimonio arquitectónico.

En este sentido, la normatividad es una de las barreras más notorias, en el caso de México aún no existen regulaciones para evaluar la calidad de los adobes, por lo que es de suma importancia que los métodos de ensayo se amplíen para comprender el comportamiento y el deterioro que muestran en presencia del agua (Sánchez et al., 2024). Así mismo, la preservación de edificaciones con tierra necesita del desarrollo y experimentación de nuevas técnicas para mantener el patrimonio arquitectónico al transcurso de los años y que este no se vea deteriorado o tenga algún proceso de meteorización que pueda comprometer su buen estado (Mattone et al., 2017).

En Michoacán varias de las edificaciones con tierra se ven abandonadas durante décadas, sin mantenimiento y expuestas a la intemperie, lo que provoca un deterioro acelerado. Actualmente estas construcciones presentan un gran riesgo de extinción, lo que representaría un detrimento al patrimonio arquitectónico (Sánchez et al., 2024). El INAH indica que en “México los ejemplos de la arquitectura creada a partir de la irrupción de la cultura europea en el continente y hasta finales del siglo XIX son considerados monumentos históricos” (Balandro, s/f).

Preservar edificios que se consideran patrimonios nacionales es todo un reto, ya que si alguna estructura posee daños importantes no se podrá restaurar de cualquier forma, el INAH presenta una guía para elaborar proyectos de conservación en inmuebles que se consideren patrimonio arqueológico e histórico. En la guía se encuentran los datos del proyecto a realizar, desde la presentación del proyecto de conservación, datos generales de identificación, diagnóstico integral del bien o conjunto cultural y propuesta de conservación y/o restauración.

Antes de que se presente el proyecto ante el INAH que en este caso se pretende restaurar, se debe de contar con una propuesta argumentado el por qué de los materiales a utilizar. Los materiales que se seleccionen para la restauración previamente deberán pasar por pruebas de calidad para tener la certeza de que son aptos para emplearse.

Las pruebas de calidad van desde las destructivas hasta las no destructivas, donde se comparan resultados de cada material a estudiar para posteriormente deducir cuál cumple con las especificaciones del INAH. Dentro de las pruebas de calidad también se toma en cuenta la estética de este, ya que no solo debe de cumplir con las pruebas mecánicas, sino también con

las físicas. Así mismo, es importante conocer el comportamiento y características de los adobes para que se puedan aplicar en esta restauración y también en construcciones de viviendas en la zona, aprovechando el material natural con el que cuentan, dado que para ellos es de fácil acceso haciendo que este sea de un costo menor.

Caso de estudio

En el año 2022 se registraron por lo menos 34 monumentos históricos dañados tras los eventos sísmicos ocurridos durante ese año en el estado de Michoacán. Las construcciones erigidas con tierra, principalmente con la técnica del adobe, tienen una mayor probabilidad de sufrir daños durante un sismo en comparación con construcciones edificadas con materiales industrializados (Vargas et al., 2009).

Uno de los patrimonios históricos dañado fue la Parroquia del Señor del Perdón que se encuentra en el municipio de Zirahuén, Michoacán, después de que se registrara un sismo de magnitud 7.7 con epicentro en el estado de Michoacán, el día 19 de septiembre del mismo año (Santillán, 2022).

Figura 1. Parroquia del Señor del Perdón y localización en Zirahuén, Michoacán



Fuente: elaboración propia (izquierda) y Google Earth (2023) (derecha).

En diciembre de 2022 el arquitecto Salvador Concha Cerón solicitó al Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” perteneciente a la FIC de la UMSNH que se realizaran pruebas de calidad a piezas de adobes de dos diferentes proveedores para restaurar la Parroquia, con la finalidad de tener la certeza de que son aptos para este proyecto. El INAH, bajo sus normas y criterios, se encarga de supervisar cualquier edificación que se considere patrimonio histórico y que necesite de una intervención constructiva, sea de conservación o restauración.

La parroquia debe ser restaurada con materiales similares con los que originalmente está constituida. Las piezas de adobe deben de pasar un control de calidad de diferentes pruebas, las cuales el Laboratorio de Materiales antes mencionado ofrece, ya que cuenta con el equipo, infraestructura, herramientas y personal adecuado para realizarlas y determinar mediante datos técnicos si los adobes que se planean emplear son aptos para la restauración.

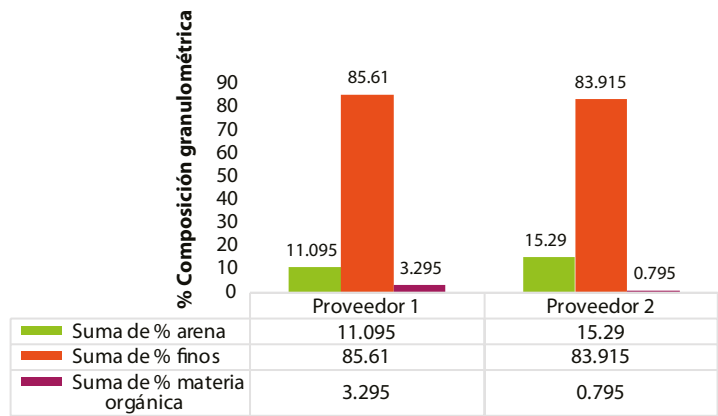
El adobe es un bloque de tierra, el cual se elabora de forma artesanal con el propósito de levantar una construcción, ya sea casa-habitación, monumentos, templos, etc. Al ser elaborado de una forma artesanal se deben tomar en cuenta varios factores para que los adobes tengan la mejor calidad posible. Es importante prestar atención a la composición de cada pieza de adobe para identificar sus propiedades físico-mecánicas, dado que los materiales utilizados para la elaboración del adobe varían según la región, debido a la diversidad que tiene el suelo o el tipo de fibra natural que abunde en la región.

Metodología de caracterización

Se analizaron los adobes de los dos proveedores, ya que cada uno cuenta con una distinto proceso de elaboración. Aunque a simple vista sea muy similar la técnica, cambian tanto los porcentajes de fibras vegetales, como en la granulometría de los suelos. Esto afecta las muestras y hace que cada una de ellas tenga diferentes propiedades. En este caso los dos grupos de adobes contenían como materia orgánica la hoja de pino, que en la región coloquialmente se conoce como huinumo.

Para determinar la composición granulométrica se tomaron aproximadamente 200 gramos de material de cada grupo de adobe, como lo indica la NMX-C-496-ONNCCE-2014. En la figura 2 se observa que ambos grupos están constituidos mayormente con suelo teniendo de diferencia solo el 1.7 % entre cada uno. La mayor diferencia se encuentra en el porcentaje de materia orgánica ya que los adobes del proveedor 2 contienen solo un 0.79 % de la muestra tomada, mientras que las muestras del proveedor 1 contienen un 3.29 %, lo que adjudica una significativa diferencia en los resultados de la prueba de módulos de elasticidad.

Figura 2. Porcentajes de la composición granulométrica de los adobes ensayados



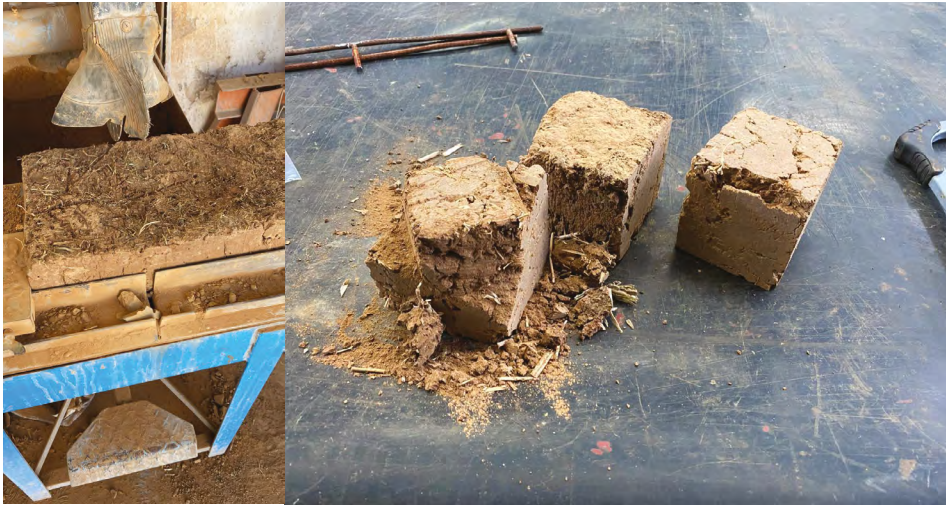
Fuente: elaboración propia. Datos obtenidos con base en la realización de la prueba.

Las pruebas de calidad que se realizaron a los adobes fueron las siguientes.

- Destructivas (compresión simple y módulos de elasticidad): se realizan con la finalidad de llevar al fallo la muestra y ver su resistencia, así como su comportamiento en los módulos de elasticidad estático.
- No destructivas (velocidad de pulso ultrasónico y colorimetría): estas pruebas, como su nombre lo menciona, no dañan las muestras ni distorsionan los resultados de otras pruebas.

Las pruebas iniciales que se realizaron fueron las no destructivas. Las piezas de adobe se labraron en distintos tamaños y formas para las diferentes pruebas, ya que se basó en las normas mexicanas para concretos, pero el adobe no es un material comercializado, por lo que aún no existen normas mexicanas para adobes.

Figura 3. *Labrado de especímenes de los adobes ensayados*

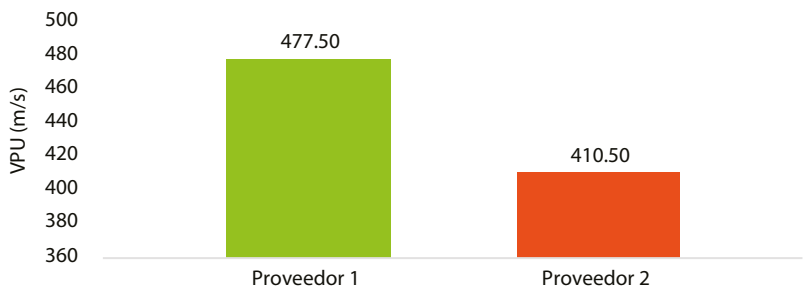


Fuente: elaboración propia.

Velocidad de pulso ultrasónico (VPU)

La prueba de VPU indica la calidad y homogeneidad de los materiales de estudio, en este caso del adobe; se puede estimar de forma indirecta la calidad de la elaboración de los especímenes de estudio, la adecuada distribución de los aditivos incorporados, la densidad y la durabilidad de los materiales (Arreola et al., 2023). La prueba se ejecutó según lo especificado en la NMX-C-275-ONNCCE-2020.

Figura 4. VPU de los adobes ensayados.



Fuente: elaboración propia. Datos obtenidos con base en la realización de la prueba.

En la figura 4 se observa que la muestra que obtuvo mejor resultado fue la del proveedor 1 con un valor de 477.50 m/s y una diferencia del 15 % aproximadamente, lo que indica que en la prueba de vpu esa fue la muestra de mejor calidad. Estos valores pueden correlacionarse directamente con la resistencia a compresión, ya que a mayor densidad del material mayores prestaciones mecánicas y por lo tanto, las ondas tendrán mayor facilidad para atravesar el material (Sánchez et al., 2024).

Colorimetría

En edificaciones consideradas patrimonio nacional la prueba de colorimetría en restauraciones es de suma importancia, ya que si sufren algún daño estas deberán ser restaurada, con materiales muy similares con los que cuenta la estructura original, tanto en características mecánicas como físicas. Además, si la prueba se efectúa también con muestras testigo es posible identificar posibles adiciones en las mezclas de suelos o en los adobes (Martínez et al., 2018; Sánchez et al., 2021).

Para realizar esta prueba se utilizó el colorímetro CLRM-200. Con este equipo se tomaron diferentes coordenadas con lecturas que arroja el equipo, las cuales se indican en el espacio CIELab; las lecturas indican luminosidad y parámetros a* y b*. Una vez obtenidas las lecturas se utilizó un convertidor de color que se encuentra en la web: <https://www.nixsensor.com/free-co>

lor-converter/ Free Color Converter - sRGB, CMYK, LAB, XYZ, HEX and more! (nixsensor.com).

Tabla 1. *Propiedades colorimétricas y representación gráfica de los adobes ensayados*

<i>Muestra</i>	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>Color</i>
Proveedor 1	51.66	10.88	20.62	
Proveedor 2	50.84	11.95	21.76	
Original	47.70	13.43	25.75	

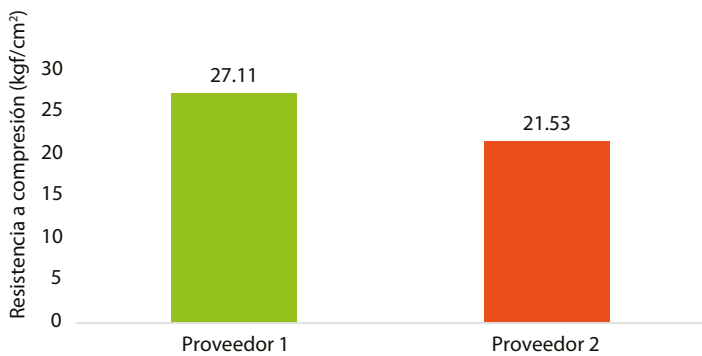
Fuente: elaboración propia. Datos obtenidos con base en la realización de la prueba.

Como se observa en las imágenes y en las coordenadas, el color tiene una diferencia muy pequeña, a simple vista es un poco difícil diferenciar el color, hecho que puede correlacionarse con los resultados numéricos de la Tabla 1, con muy poca variación entre los valores obtenidos. En estética y color cualquiera de los dos grupos de adobes puede ser empleado comparado con el color de la muestra testigo, según Rojas (2023).

Compresión simple

La prueba de compresión es una de las más importantes en el control de calidad. Esta indica qué tanto esfuerzo soportará cada una de las piezas. Para realizar esta prueba se tomó como referencia la NMX-C-083-ONN-CE-2014 dado que en la actualidad no existen normas mexicanas para adobes. Esta prueba se realizó en especímenes cúbicos de dimensiones aproximadamente de 8 x 8 x 8 cm. Previamente se realizó un cabeceo con azufre para que la superficie sea uniforme a la hora de la aplicar la carga. Los resultados se muestran en la figura 5.

Figura 5. Resistencia a compresión de los adobes ensayados

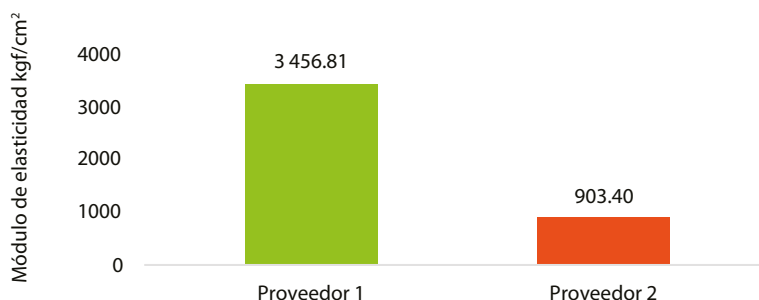


Fuente: elaboración propia. Datos obtenidos con base en la realización de la prueba.

En la prueba de resistencia a compresión en adobes, como en las dos anteriores, no se puede ver una diferencia considerable entre uno y otro (Minke, 2006). Esto indica que la resistencia a la compresión admisible de los elementos de construcción de tierras según la norma DIN 18954 está entre 3 y 5 kg/cm². Así mismo, comparado con la muestra testigo que dio un valor de 8.89 kgf/cm², según Rojas (2023) los dos grupos de adobes son aptos para la reconstrucción de la parroquia, con una pequeña diferencia de solo 5 kgf/cm².

Módulos de elasticidad

Esta prueba consiste en sacar la relación esfuerzo-deformación, es decir cuánto se deforma el material a cierta carga. Para esta prueba fue necesario labrar cilindros de 5 cm de diámetro aproximadamente. El procedimiento se basó en la NMX-C-128-ONNCCE-2020 para concretos, dado que no hay una normativa mexicana para realizar esta prueba en adobes.

Figura 6. Módulos de elasticidad estáticos de los adobes ensayados

Fuente: elaboración propia. Datos obtenidos con base en la realización de la prueba.

En la figura 6 se observa que el grupo con mayor módulo de elasticidad fue el grupo del proveedor 1. En esta prueba es donde el resultado sí varía considerablemente de un grupo a otro, esto se puede atribuir al contenido de materia orgánica, ya que las piezas de adobe contenían un 3.29 % de fibra, mientras que el grupo del proveedor 2, solo un 0.79 % según Rojas (2023). Por lo que al tener una mayor cantidad de fibra este tiene un mayor comportamiento ante una fuerza externa como un sismo, dado que los resultados de fuerza a compresión no se diferencian entre un proveedor y otro.

Los resultados de la investigación nos muestran un proceso de caracterización simple que puede efectuarse y ser replicado fácilmente para el control de calidad de adobes u otros componentes constructivos a base de tierra. En investigaciones anteriores se presentó un amplio conjunto de métodos para caracterizar adobes patrimoniales (Sánchez et al, 2024), incluyendo ensayos no destructivos, ensayos mecánicos, caracterización química y análisis de durabilidad. Sin embargo, cabe destacar que estos procesos de caracterización deben ser distintos para las muestras patrimoniales y los componentes de nueva fabricación, ya que las prestaciones y demandas son muy distintas para las dos situaciones. Por lo tanto, esta línea de investigación todavía tiene un largo recorrido y es totalmente relevante y pertinente debido a la necesidad de estandarizar y promover materiales de construcción locales y de bajo impacto ambiental.

Conclusiones

Para restaurar un edificio de tierra que se considere patrimonio nacional existen ciertos criterios para llevar a cabo esta acción, se debe de dar la importancia que conlleva realizar estos procesos para conservar por muchos años más las edificaciones de tierra. Sin embargo, la ausencia de normativas y regulaciones acerca del adobe y otras técnicas de construcción con tierra, dificulta los procesos de caracterización y control de calidad, ya que los procedimientos de aplicación no están bien definidos.

Por estos motivos, este tipo de investigaciones es muy importante para en el futuro poder normalizar el uso de materiales con potencial sustentable, como los suelos, y también para contar con una mejor definición de los procesos de restauración y conservación de edificaciones de tierra que se consideren patrimonio histórico. La construcción con tierra suele tener escasa consideración a lo largo del país, con implicaciones socioeconómicas y tecnológicas muy bajas y un desconocimiento generalizado de las diversas técnicas existentes. Por ello, una mejor comprensión de los sistemas constructivos tradicionales y mayores esfuerzos de investigación destinados a estudiarlos contribuirán a una mejor apreciación de la tierra y los adobes, para facilitar su uso y preservación.

Las propiedades mecánicas generalmente son las más valoradas y necesarias en todas las acciones de control de calidad para los materiales de construcción, estas se relacionan directamente con el desempeño estructural de las edificaciones. Los adobes de ambos proveedores presentaron buenos valores en todas las pruebas realizadas, especialmente si comparamos con otros trabajos presentes en la literatura sobre caracterización de adobes históricos o patrimoniales. Cabe mencionar que es muy importante el análisis de la composición granulométrica del material, ya que al analizar los resultados de las pruebas realizadas se deduce por qué pueden tener un comportamiento diferente en algunas de ellas; además, dejan una aportación de cómo están constituidas las piezas de adobe, por si en un futuro o en alguna otra zona donde el material abunde puedan tener conocimiento de cómo se compone una pieza de adobe.

Como se observa en las gráficas, las muestras de adobe del proveedor 1 muestran mejoras en la mayoría de las pruebas físico-mecánicas, alcanzan valores más altos de resistencia a compresión simple y módulo de elasticidad estático, aunque las muestras del segundo proveedor obtuvieron resultados un poco menos satisfactorios también pasan.

Los resultados de otros ensayos, como la colorimetría, también son muy relevantes, dado que es crucial restaurar el templo de manera que conserve su aspecto original. Sin embargo, es importante resaltar que los adobes y la arquitectura de tierra en general no suele dejar superficies descubiertas, debido a la acción del agua. En conjunto, los ensayos no destructivos son de gran utilidad para el análisis de las construcciones patrimoniales, debido a que son mucho menos invasivos. En este estudio se empleó el vpu que demostró resultados congruentes respecto a los ensayos de resistencia mecánica.

A partir de la investigación realizada en el laboratorio de materiales, caracterizando los adobes de la Parroquia del Señor del Perdón de Zirahuén, se generó una vinculación con la comunidad para que ellos puedan ejecutar la restauración del templo con los mejores medios. Este tipo de acciones son de gran importancia para implementar la responsabilidad social universitaria y ejercer un impacto positivo en la sociedad.

Así mismo, la caracterización de estas piezas de adobe servirá a la comunidad para que puedan construir edificaciones con un material de fácil acceso y que, además, es ecoamigable, ayudando de esta manera al medioambiente mientras se preservan los aspectos sociales y culturales de la construcción con tierra. El diseño participativo deberá ser uno de los ejes básicos para el desarrollo de la comunidad de Zirahuén, y la UMSNH una de las principales colaboradoras y partícipes de este cambio de mentalidad.

Siguiendo esta línea de materiales hechos con tierra, es necesario mencionar que estos estudios realizados en los adobes han contribuido de manera significativa en el diseño de nuevos proyectos que están aún en curso en el laboratorio para elaboración de otro tipo de especímenes como bloques de adobes, pero con diferentes proporciones, adiciones para su estabilización y de esta manera en un futuro cercano contribuir a la elaboración de nuevas viviendas con características parecidas a la de las edificaciones vernáculas, haciéndolas atractivas para los demandantes de viviendas.

Referencias

- Arreola, M., Martínez, W., Chávez, H., Borrego, J., Navarrete, M. y Alonso, E. (2023). Uso de adiciones en morteros para incidir en las prestaciones físico mecánicas, fomentando la economía circular. En *Hacia una concepción de la Vivienda y Hábitat en un ambiente construido* (p. 203).
- Ashour, T., Korjenic, A., Korjenic, S. y Wu, W. (2015). Thermal conductivity of unfired earth bricks reinforced by agricultural wastes with cement and gypsum. *Energy and Buildings*, 104, 139-146. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.016>
- Bahobail, M. A. (2012). The Mud Additives and Their Effect on Thermal Conductivity of Adobe Bricks. *JES. Journal of Engineering Sciences*, 40(1), 21-34. <https://doi.org/10.21608/jesaun.2012.112711>
- Balandro Campos, A. (s/f). *La arquitectura y el patrimonio edificado*. INAH. https://www.mEDIATECA.inah.gob.mx/webapps/publicaciones-digitales/80ANIV_INAH/caps/8/cap_viii.html
- Baquedano, P., Eudave, R. R., Miranda, F. N., Graus, S. y Ferreira, T. M. (2021). Traditional earth construction in Latin America: A review on the construction systems and reinforcement strategies. *Masonry Construction in Active Seismic Regions*, 99-121. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821087-1.00011-9>
- Blondet, M., Torrealva, D., Ginocchio, F., Vargas, J. y Velásquez, J. (2006). Seismic reinforcement of adobe houses using external polymer mesh. *8th US National Conference on Earthquake Engineering 2006*, 7, 4223-4232.
- Carreira, I., Pombo, I. y Faria, P. (2021). Earth mortars stabilization: a review. *Conservar Patrimonio*, 37, 35-43.
- Eslami, A., Mohammadi, H. y Banadak, H. M. (2022). Palm fiber as a natural reinforcement for improving the properties of traditional adobe bricks. *Construction and Building Materials*, 325(March).
- Gama, J., Cruz, T., Pi Puig, T., Alcalá, R., Cabadas, H., Sánchez, S., López, F. y Vilanova de Allende, R. (2012). Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 64(2), 177-188. <https://doi.org/10.18268/bsgm2012v64n2a3>
- Gatti, F. (2012). Arquitectura y construcción en tierra. Estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en Tierra. *Universidad Politécnica de Catalunya*, 08. <http://mastersuniversitaris.upc.edu/tecnologiaarquitectura>
- Hastings García, I. y Guerrero Baca, L. F. (2020). Transference of sustainable preservation techniques for building adobe dwellings in Ixtepec, Oaxaca, Mexico. *Journal of Traditional Building, Architecture and Urbanism*, 1, 474-484. <https://doi.org/10.51303/jtbau.vi1.372>
- Martínez, W., Torres-Acosta, A., Alonso-Guzmán, E., Chávez, H., Lara, C. y Bedolla, A. (2018). Colorimetry of clays modified with mineral and organic additives. *Revista ALCONPAT*. *ALCONPAT*, 8, 163-177.

- Mattone, M., Rescic, S., Fratini, F. y Del Fà, R. M. (2017). Experimentation of Earth-Gypsum Plasters for the Conservation of Earthen Constructions. *International Journal of Architectural Heritage*, 11(6), 763-772. <https://doi.org/10.1080/15583058.2017.1290850>
- Minke, G. (2006). *Building with earth*. Birkhauser.
- Morel, J-C., Charef, R., Hamard, E., Fabbri, A., Beckett, C. y Bui, Q-B. (2021). Earth as construction material in the circular economy context: practitioner perspectives on barriers to overcome. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 376. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0182>
- Oliveira, C. F., Varum, H. y Vargas, J. (2012). Earthen Construction: Structural Vulnerabilities and Retrofit Solutions for Seismic Actions. *15th World Conference on Earthquake Engineering*, 16813-16822.
- Rodgers, L. (2018). *La enorme fuente de emisiones de CO2 que está por todas partes y que quizás no conocías*. BBC News. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46594783>
- Rojas, Y. (2023). *Caracterización de adobes del Templo del Señor del Perdón, Zirahuén, Michoacán, México; Caso de estudio para su restauración debido al daño dinámico de la estructura*. UMSNH.
- Sánchez Calvillo, A. Alonso Guzmán, E. M. y López Núñez, M. (2021). Vulnerabilidad sísmica y la pérdida de la vivienda de adobe en Jojutla, Morelos, México, tras los sismos de 2017. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 10, 9-29. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v2i10.162>
- Sánchez Calvillo, A., Alonso Guzmán, E. M., Navarro Ezquerra, A., Ruiz Mendoza, M., Martínez Molina, W., Álvarez Galindo, J. I. y Rincón, L. (2024). Physical-chemical, mechanical and durability characterization of historical adobe buildings from the State of Michoacan, Mexico. *Journal of Building Engineering*, 86(February). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108802>
- Sánchez-Calvillo, A., Alonso-Guzman, E. M., Martinez-Molina, W., Navarrete-Seras, M. A., Ruvalcaba-Sil, J. L., Navarro-Ezquerra, A. y Mitrani, A. (2021). Characterization of adobe blocks: Point-load assessment as a complementary study of damaged buildings and samples. *Heritage*, 4(2), 864-888. <https://doi.org/10.3390/HERITAGE4020047>
- Santillán, L. (2022). *Sismo en México. 19 de septiembre 2022*. DGDCUNAM. <https://ciencia.unam.mx/leer/1315/sismo-en-mexico-19-de-septiembre62>
- Vargas Neumann, J., Blondet, M. e Iwaki, C. (2009). Reparación de construcciones patrimoniales de tierra en áreas sísmicas. En *Arquitectura de tierra y hábitat sostenible* (p. 11). Universidad Nacional de Tucumán.