



Caracterización de las propiedades físicas del adobe de viviendas vernáculas en Santiago Amatlán, Oaxaca

Characterization of the physical properties of adobe in vernacular houses in Santiago Amatlán, Oaxaca

Miguel Adrián Hernández Rodríguez^{1†*} , Heidy Gómez Barranco¹ , Rafael Alavéz Ramírez² ,
Elia Mercedes Alonso Guzmán³ 

¹ Facultad de Arquitectura “5 de Mayo”, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (UABJO).

² Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca.

³ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Cuerpo Académico “Ciencias, Ingeniería y Tecnología de Materiales para la Construcción”.

Historial

Manuscrito recibido: 14 de octubre de 2024

Manuscrito aceptado: 28 de marzo de 2025

Manuscrito publicado: abril 2025

*Autor para correspondencia

Miguel Adrián Hernández Rodríguez

miguel.ahr117@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5239-4094

Resumen

La pérdida del patrimonio arquitectónico representa un problema en México debido al desconocimiento de sus técnicas y características, además de la falta de normativa. Esta investigación forma parte del PRONAI 321260 del CONACYT, y se busca preservar los sistemas constructivos tradicionales en municipios marginados. Las estadísticas de la CONAVI indican que Santiago Amatlán, Oaxaca, presenta altos niveles de pobreza y un progresivo abandono de materiales tradicionales. En el presente trabajo se caracterizaron las propiedades físicas del adobe de viviendas vernáculas de la comunidad, lo que facilitará su preservación y promoverá su uso adecuado en nuevas construcciones que forman parte del patrimonio cultural de la región.

Palabras clave: Adobe, arquitectura vernácula, propiedades físicas.

Introducción

La construcción con tierra ha tenido una importancia vital a lo largo de la historia y sigue desempeñando un papel fundamental en la actualidad, según el Banco Mundial (2022), un tercio de la población habita en viviendas construidas con este material. En México, dichas construcciones tienen una baja apreciación, ya que sus materiales se consideran propios de las clases más desfavorecidas. En el estado de Oaxaca, este sistema constructivo sigue en uso, prueba de ello es la notable colección de edificios históricos construidos con adobe,

Abstract

The loss of architectural heritage represents a problem in Mexico due to the lack of knowledge of its techniques and characteristics, in addition to the lack of regulations. This research is part of CONACYT's PRONAI 321260, and seeks to preserve traditional construction systems in marginalized municipalities. CONAVI statistics indicate that Santiago Amatlán, Oaxaca, has high levels of poverty and a progressive abandonment of traditional materials. In the present work, the physical properties of adobe in vernacular houses of the community were characterized, which will facilitate its preservation and promote its appropriate use in new constructions that are part of the cultural heritage of the region.

Keywords: Adobe, vernacular architecture, physical properties.

los cuales reflejan su riqueza cultural.

En términos ambientales, la fabricación de adobe se caracteriza por tener una huella de carbono muy baja y, además, es un material reciclable, lo que permite su reutilización. En el ámbito social, la utilización de materiales vernáculos contribuye a preservar la identidad y el patrimonio cultural de la región. Además, promueve el trabajo local, fortaleciendo los vínculos y facilitando la transmisión de habilidades tradicionales de construcción a lo largo de las generaciones. Según los informes del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de

Desarrollo Social (CONEVAL, 2023) y la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI, 2023), la comunidad de Santiago Amatlán, presenta indicadores de pobreza y un progresivo desuso de materiales tradicionales, lo cual propicia la pérdida de su riqueza arquitectónica. Al realizar un conteo de viviendas en la comunidad, se observa que alrededor del 44% están construidas con adobe. Sin embargo, el desconocimiento sobre estas técnicas, calidad y cualidades de sus materiales se incrementan conforme pasa el tiempo.

Esta investigación, que se centra en la caracterización de las propiedades físicas del sistema constructivo de adobe de las viviendas vernáculas en el municipio de Santiago Amatlán, Nochixtlán, Oaxaca, forma parte del PRONAI 321260 del CONACYT. El objetivo fue caracterizar las propiedades físicas del adobe utilizado para la construcción de viviendas vernáculas para brindar información relevante a los profesionales del área. Se revisaron los antecedentes y el marco normativo existente sobre el sistema constructivo del adobe, se llevó a cabo un mapeo de la tipología de vivienda, se realizaron entrevistas sobre la comodidad térmica de los ocupantes de las viviendas y se tomaron muestras de adobe in situ, para posteriormente, efectuar pruebas físicas del material.

Materiales y métodos

Caracterización física y toma de muestras de adobe

La caracterización de materiales se refiere al proceso de identificar, describir y evaluar las propiedades físicas, mecánicas, químicas y estructurales de un material. Esto incluye la determinación de su composición, estructura interna, comportamiento frente a diferentes condiciones ambientales y su capacidad para cumplir con ciertas especificaciones o requisitos de rendimiento en aplicaciones específicas.

Para esta investigación, se llevó a cabo la toma y extracción de muestras representativas del entorno, sujetas a la disponibilidad de los habitantes. En total, se recolectaron 16 muestras, de las cuales 9 corresponden a coronas de muros, 5 a la parte intermedia y 2 bloques a la cimentación. Además, se realizó un muestreo de un pozo a cielo abierto con una profundidad de 1.1 m. El propósito de este muestreo fue comparar, a través del tamizado del terreno, si los adobes fueron efectivamente elaborados con tierra proveniente del mismo lugar, según lo indicado por los habitantes. Las muestras recopiladas exhiben, en general, las siguientes dimensiones: 20 cm de ancho, 15 cm de altura y 40 cm de longitud.

Propiedades físicas

Granulometría en seco

La granulometría es un proceso mecánico mediante el cual se separan las partículas de un suelo según su tamaño. Los resultados de este análisis suelen representarse en curvas granulométricas, que muestran el porcentaje acumulado de material en función del tamaño de las partículas. Estas curvas son fundamentales para comprender las características del material, como su distribución de tamaños, uniformidad, densidad aparente y porosidad, entre otros aspectos. En el caso del adobe, la granulometría es un factor clave para determinar sus propiedades mecánicas, estabilidad y durabilidad, ya que una distribución adecuada de tamaños de partículas mejora su resistencia y desempeño estructural. Para la clasificación de suelos, se emplea el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS, 2023), el cual permite categorizar los suelos con base en sus características y propiedades, facilitando su estudio y aplicación. Como primer paso, la muestra de adobe fue secada en un horno a 60 °C durante 24 h, con el fin de eliminar cualquier humedad residual. Una vez seca, se disgregó utilizando un martillo de goma, asegurando que el material alcanzara un estado adecuado para el análisis sin alterar significativamente la granulometría. Posteriormente, se procedió al cuarteo de la muestra mediante un cono truncado, asegurando una distribución representativa del material. Se realizaron cinco tanteos para obtener una fracción homogénea.

Tras la selección, el material fue pesado en una balanza de precisión y sometido a un tamizado mecánico con una máquina Ro-Tap durante 5 minutos, utilizando una serie de mallas que van desde 2" hasta la No. 4. Este proceso permitió obtener la distribución granulométrica del material para su posterior análisis (ASTM C136/C136M – 14).

Granulometría de lavado

De la muestra previamente obtenida, se criban 200 g de material que pasa por la malla No. 4 y se colocan en un recipiente etiquetado. Luego, la muestra se lava mediante tamizado húmedo con la malla No. 200 para eliminar limos y arcillas, continuando el proceso hasta que el agua de drenaje salga completamente clara.

Una vez completado el lavado, la muestra se seca en un horno a 60 °C hasta alcanzar un peso constante, asegurando la eliminación total de humedad. Finalmente, el material seco se criba nuevamente utilizando una serie de mallas estandarizadas, y se registran los pesos obtenidos para el análisis granulométrico.

Peso volumétrico

El peso unitario o peso volumétrico se define como la relación entre el peso total de la muestra y su volumen total. Esta prueba, en la fabricación de adobe, es fundamental porque determina su resistencia y durabilidad. Un adobe con un peso adecuado garantiza una estructura sólida y estable, lo que resulta vital para la seguridad y la longevidad de las construcciones de tierra.

Para calcular el peso volumétrico, primero se pesó la tara vacía utilizando una balanza de precisión. Luego, se pesó la tara con la muestra de suelo obtenida de la prueba de granulometría, la cual había sido secada previamente en un horno, disgregada y cuarteada para asegurar su homogeneidad. Posteriormente, se calculó el volumen de la tara con la muestra (ASTM D7263-21).

Con estos datos, se utilizó la siguiente fórmula para determinar el peso volumétrico:

$$Y_m = W_m / V_m$$

Donde:

Y_m: Peso volumétrico (kg/m³)

W_m: Peso de la muestra (kg)

V_m: Volumen de la muestra (m³)

Porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad en un suelo se refiere a la cantidad de agua presente en relación con el peso total del suelo. El contenido de humedad en el adobe varía según la mezcla y el proceso de fabricación. Controlar este factor es crucial para asegurar la calidad y resistencia del material en construcción, ya que afecta directamente su trabajabilidad, resistencia y durabilidad. Un contenido de humedad adecuado es necesario para una correcta mezcla, compactación y secado del adobe.

Para realizar esta prueba, primero se pesa la muestra y luego se coloca en un horno a una temperatura de 105 °C durante 24 horas para su secado. Después de este proceso, se vuelve a pesar la muestra, restando el peso de la tara (ASTM D2974-20e1.).

El contenido de humedad se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$W\% = (P_{sh} - P_{ss}) / P_{ss} \times 100$$

donde:

P_{sh}: Peso de la muestra húmeda (antes del secado)

P_{ss}: Peso de la muestra seca (después del secado completo)

Densidad

La densidad es una medida de la cantidad de masa contenida en una unidad de volumen, y se calcula dividiendo la masa de un objeto o sustancia por su volumen.

La densidad del adobe puede variar dependiendo de varios factores, como la composición de los materiales utilizados, el proceso de fabricación y el grado de compactación. Esta característica influye directamente en su resistencia, aislamiento, durabilidad y facilidad de manejo. Controlar la densidad del adobe es fundamental para garantizar la seguridad, estabilidad y eficiencia de las estructuras construidas con este material.

Mediante la determinación de la densidad, también es posible calcular la porosidad total del suelo. Para ello, se pesaron 50 gramos de material que pasó por una malla número 40 y se distribuyó en dos matraces, previamente calibrados y numerados.

El siguiente paso consistió en hervir el agua en un baño maría durante 2 horas para eliminar las moléculas de oxígeno presentes en la muestra. Posteriormente, se utilizó una máquina de vacío para extraer el aire restante y se registró la temperatura. Luego, la muestra se secó en un horno a 65°C durante 24 horas (ASTM D7263-21.).

Finalmente, se pesó el contenido seco y se calculó la densidad utilizando la siguiente fórmula:

$$\rho_r = M_{ps} / V_{pd}$$

donde:

ρ_r es la densidad aparente del material,

M_{ps} es la masa de la muestra seca (en gramos),

V_{pd} es el volumen desplazado por el agua (en centímetros cúbicos).

Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg son un conjunto de pruebas utilizadas para determinar las propiedades de los suelos, particularmente su contenido de agua y plasticidad (ASTM D4318-95a).

Límite líquido

Esta prueba se emplea para determinar el contenido de agua con el cual el suelo adquiere una consistencia de lodo capaz de fluir con esfuerzos bajos.

La prueba se realiza colocando una muestra del suelo en una cuchara de Casagrande normalizada. Un surco abierto con un acanalador normalizado se cierra por el efecto de golpear la cuchara sobre una base rígida, al dejarla caer desde una altura de 10 mm. La cantidad de humedad en el suelo se ajusta gradualmente hasta que

el surco se cierra completamente a lo largo de una distancia de 12 mm (0,47 pulgadas) después de 25 golpes estándar.

El límite líquido en la fabricación de adobe determina la humedad adecuada para la mezcla, asegurando la consistencia, plasticidad y previniendo la contracción excesiva, garantizando así la calidad del producto final.

Una vez alcanzados los 25 golpes, se procede a llenar el molde para determinar la contracción lineal.

Límite plástico

El límite plástico del suelo describe una propiedad que indica su plasticidad. Esta propiedad corresponde a la humedad del suelo por encima de la cual el suelo se comporta plásticamente, es decir, puede deformarse sin romperse, e influye en la plasticidad de la mezcla de adobe, afectando su trabajabilidad, coherencia, estabilidad y durabilidad, aspectos fundamentales para la fabricación de adobe de calidad. Este ensayo consiste en mezclar una muestra de suelo con agua y amasarla hasta que adquiera una consistencia uniforme. Luego, la muestra se enrolla en forma de hilo sobre una superficie plana (generalmente de vidrio) hasta que el hilo tenga un diámetro de aproximadamente 3 mm y se rompa. El contenido de humedad correspondiente a este punto de ruptura, donde el hilo se fragmenta, se registra como el límite plástico del suelo.

Contracción lineal

La prueba de contracción lineal en tierra es un procedimiento utilizado para determinar la cantidad de contracción que experimentará un suelo al secarse, debido a la pérdida de humedad, lo cual puede causar asentamientos o deformaciones en las estructuras construidas sobre él. Durante esta prueba, las muestras de suelo se preparan y se compactan adecuadamente en un molde rectangular con un volumen y compactación estándar. Posteriormente, se someten a un proceso de secado controlado, generalmente en un horno a una temperatura de 105 °C durante un periodo de 24 h, hasta que la humedad del suelo se elimine gradualmente. Durante el proceso de secado, se registran las variaciones en la longitud de las muestras a intervalos regulares, por ejemplo, cada 24 h, hasta que la contracción se estabilice.

La contracción lineal se calcula utilizando la fórmula estándar:

$$CL (\%) = [(Li - Lf) / Li] \times 100.$$

Donde:

CL = Contracción lineal (%)

Li = Longitud inicial

Lf = Longitud final

Resultados

Estado del arte de la información

Marco normativo

El sistema constructivo de adobe, profundamente arraigado en la historia y cultura de México, ha enfrentado diversos desafíos y ha sido objeto de regulación y normativas específicas. A nivel internacional, el marco normativo relacionado con el adobe puede estar influenciado por convenciones y tratados internacionales que abordan la preservación del patrimonio cultural, la protección del medio ambiente y los estándares de construcción sostenible.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2023) desempeña un papel clave en la promoción y preservación de la arquitectura de tierra, incluido el adobe, como parte del patrimonio cultural mundial.

La Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, adoptada en 1972, reconoce la importancia de salvaguardar sitios y prácticas culturales relacionadas con la tierra. Además, organizaciones como ONU-Hábitat promueven prácticas de construcción sostenible que incluyen el uso de materiales tradicionales, como el adobe, en proyectos de vivienda a nivel global.

Dentro de las normativas vigentes y aplicables a nivel internacional, destaca la regulación peruana sobre el adobe, establecida en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2023) de Perú, el cual define estándares y requisitos técnicos para la construcción con este material.

En México, las regulaciones específicas para la construcción con adobe son limitadas y pueden variar según el estado o municipio. No obstante, existen normativas nacionales aplicables a la construcción en general que también pueden ser relevantes para el uso del adobe. Entre las más importantes se encuentran la Norma Mexicana NMX-C-416-ONNCCE-2022, que establece los requisitos para la fabricación y uso del adobe en edificaciones, así como la Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2022, que forma parte de las normas técnicas complementarias para elementos de mampostería.

A nivel estatal en el estado de Oaxaca, no existe una normativa específica sobre la construcción con adobe;

sin embargo, algunos manuales técnicos proporcionan pautas para su correcta aplicación.

Análisis de la zona de estudio

Tipología de vivienda

Las viviendas de adobe en la comunidad se caracterizan por ser de un solo nivel, con una planta rectangular de entre 30 m² y 50 m² de superficie en promedio. Sus muros longitudinales tienen una altura de entre 2.4 m y 2.7 m, mientras que los muros transversales alcanzan alturas de 3m a 3.5 m. Por lo general, no cuentan con muros divisorios intermedios. Suelen tener una única puerta de acceso, ubicada al centro del muro longitudinal, con dimensiones que varían entre 0.7 m y 1.2 m de ancho, y una altura promedio de 2 m. Por lo regular, presentan una ventana de entre 0.3 m² y 1 m² de área, ubicada en algún muro longitudinal.

Como se observa en la **Figura 1**, en puertas y ventanas se colocan dinteles de madera de entre 3 cm y 5 cm de espesor, con un apoyo sobre los muros de aprox. 20 cm a 30 cm. Para unir las piezas de adobe se utiliza un mortero compuesto por tierra, agua y pasto seco, formando un lodo cuya junta tiene un espesor de entre 2 cm y 3 cm. La cimentación suele estar compuesta por zapatas corridas de piedra braza, desplantadas a una profundidad de entre 60 cm y 80 cm, y sobresaliendo del terreno natural entre 30 cm y 40 cm para evitar la intemperización de la base de los muros de adobe (Arroyo, 2010).

El sistema de cubierta es a dos aguas, con una inclinación de entre 13° y 25°. Generalmente, está conformado por una lámina y se estructura con una viga longitudinal

robusta de madera que se apoya en los muros transversales (cabeceros) y en dos puntales de madera. Estos puntales se conectan a una viga transversal ubicada en cada tercio del claro y se apoyan sobre los muros longitudinales. Sobre los muros y la viga longitudinal descansan polines de madera, también conocidos como “madrinas” o “listones”, colocados con una separación promedio de 60 cm. Transversalmente a los polines se instalan fajillas de madera cada 25 cm, las cuales sirven de soporte para las tejas de barro recocido.

Mapeo de viviendas

En el municipio de Santiago Amatlán existen un total de 120 hogares, de los cuales 53 viviendas están construidas con adobe, lo que representa el 44.1% del total. Le sigue el uso de tabicón, con un 29%, lo que indica que la mayoría de las viviendas aún son de adobe, resaltando la importancia de esta investigación. A continuación, se muestra la distribución actual de las viviendas de adobe (**Figura 2**). Como referencia, se toma el templo de Santiago Apóstol, a partir del cual el municipio se divide en cuatro cuadrantes, identificándose la mayor concentración de viviendas en el cuadrante noroeste.

Las viviendas se clasifican según su estado actual de la siguiente manera:

Color verde: viviendas en buen estado de conservación.
Color naranja: viviendas que presentan algún tipo de deterioro.

Color rojo: viviendas abandonadas o que representan un riesgo estructural para sus habitantes.

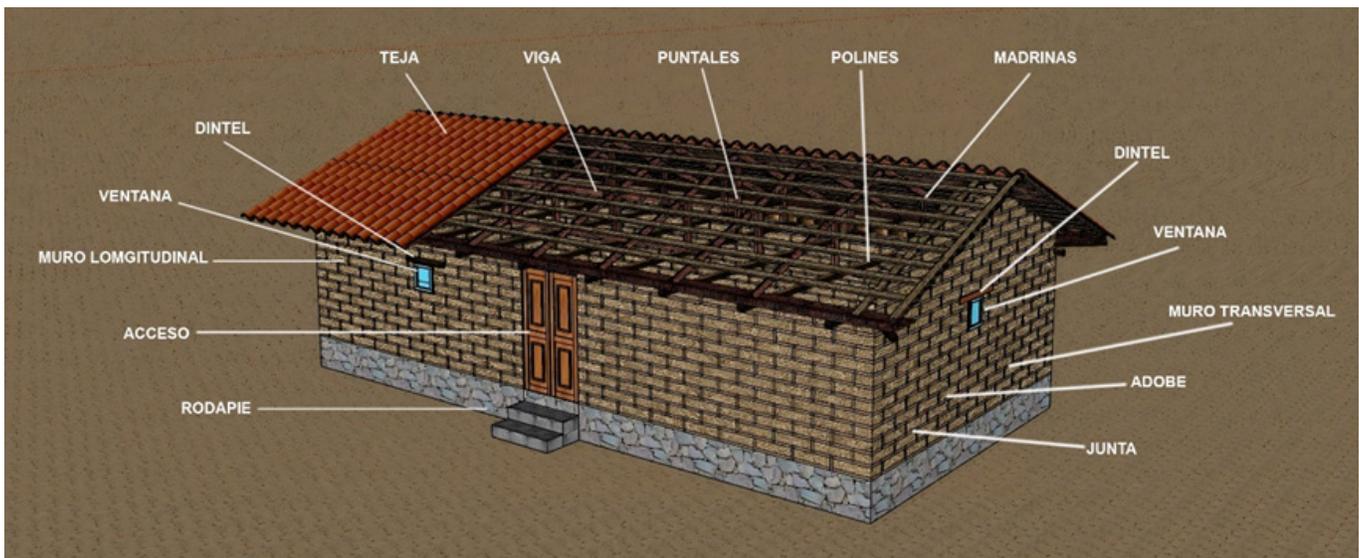


Figura 1. Elementos de la vivienda tradicional de adobe.

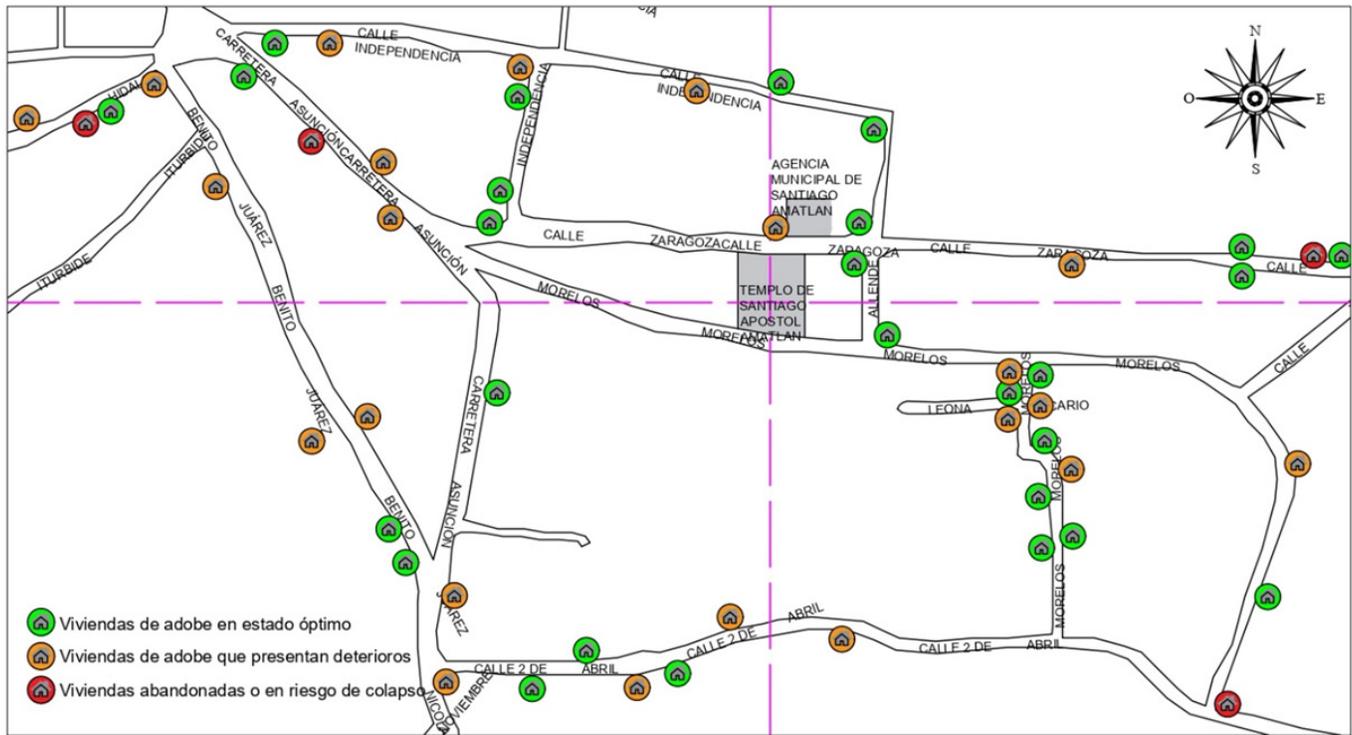


Figura 2. Mapeo de las viviendas y estado actual.

Estadísticas de vivienda

En Santiago Amatlán aproximadamente el 10% de las edificaciones se encuentran en estado de abandono. A través de un conteo directo de viviendas, se identificaron diversos métodos de construcción en la comunidad. Entre los más comunes se encuentran 53 viviendas construidas con adobe, 35 con tabicón, 27 con tabique rojo, 3 con sistemas mixtos, 1 con carrizo y 1 con madera. La mayoría de estas viviendas cuentan con cubiertas de lámina, seguidas por losa maciza y techumbres de tejas de asbesto.

Como se puede observar en la **Figura 3**, el sistema constructivo predominante es el de adobe, representando el 44.1% de las viviendas en la comunidad.

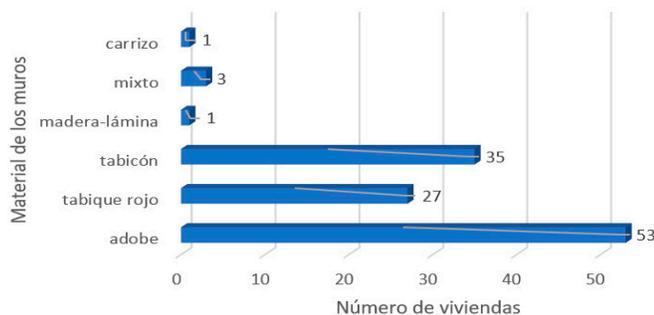


Figura 3. Estadística de materiales en muros.

Entrevistas

Se realizaron quince entrevistas a diversos residentes de distintas edades de la comunidad de Santiago Amatlán, Oaxaca, a partir de los 18 años, quienes residen en viviendas de adobe. Estas entrevistas han permitido evidenciar que el material predominante para la construcción en la comunidad es el adobe, con un 44.1% de las viviendas construidas con este material, cuyo conocimiento se transmite de generación en generación.

Las entrevistas también revelaron una problemática: las personas de entre 18 y 30 años expresaron su deseo de cambiar el material de construcción de sus viviendas por tabicón o bloque, mientras que los mayores de 30 años se sienten cómodos con sus viviendas actuales.

Estos resultados son alarmantes, ya que la falta de difusión y promoción de este sistema constructivo podría llevar a la pérdida de su uso en el futuro. Las entrevistas indican que las viviendas fueron construidas por los propios residentes, utilizando la tierra del terreno para su fabricación. Además, se detallaron otros aspectos importantes, como la falta de acceso a servicios sanitarios, la necesidad constante de mantenimiento de las viviendas de adobe y las principales actividades económicas de la comunidad.

Propiedades físicas

La caracterización de las propiedades físicas de la tierra es fundamental en la fabricación de adobe, ya

que garantiza la calidad, resistencia y durabilidad del material, lo cual es esencial para que las construcciones sean seguras y sostenibles.

La presente investigación permitió realizar un mapeo de la ubicación de las viviendas de adobe en Santiago Amatlán, Oaxaca, además de conocer su estado actual y constatar la importancia de promover el uso de este sistema constructivo en la comunidad. Aunque el adobe sigue siendo el material más utilizado, según las estadísticas de la SEDATU, los datos del censo de viviendas y las entrevistas realizadas indican que su uso está en declive y podría desaparecer por completo en el futuro.

Asimismo, se identificó la tipología de vivienda predominante en la comunidad. Se realizó un conteo de las viviendas, registrando los materiales de construcción empleados. Los resultados revelaron que existen 120 viviendas en la localidad, de las cuales el 44.1% están construidas con adobe, el 29% con tabicón y el resto con otros materiales. Finalmente, se llevó a cabo un análisis del estado de conservación de las viviendas de adobe.

Las pruebas de laboratorio realizadas proporcionan una guía valiosa sobre las características del suelo en la zona. Al llevar a cabo las pruebas físicas, se determinó que el material analizado corresponde a una arcilla illita de baja compresibilidad, con un peso volumétrico de 1.185 kg/m³ y un porcentaje de humedad total de 7.9%.

En cuanto a su densidad, los resultados mostraron un valor de 2.80 g/cm³, lo que sugiere que este tipo de adobe, al ser más denso, podría ofrecer ventajas en términos de resistencia. Sin embargo, es necesario considerar su comportamiento térmico y el impacto en el diseño estructural, especialmente en regiones donde el clima y la sismología son factores críticos para la construcción.

Los límites de Atterberg obtenidos, con un límite líquido de 35%, un límite plástico de 16.2%, una contracción lineal de 6.6% y un índice plástico de 18.8%, indican que este adobe tiene una plasticidad moderada (**Figura 4**) Esto sugiere una buena trabajabilidad durante el proceso de moldeado, sin ser demasiado susceptible a deformaciones excesivas cuando se encuentra en estado plástico. El índice plástico moderado (18.8%) refleja una cierta capacidad para soportar cambios de humedad sin perder cohesión, mientras que la contracción lineal relativamente baja (6.6%) indica que el material no se encogerá significativamente al secarse, lo que es ventajoso para evitar fisuras y garantizar estabilidad dimensional.

Según estos resultados, el suelo se clasifica como CL (arcilla de baja plasticidad) bajo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). La prueba de granulometría realizada (**Figura 5**) indicó que el material

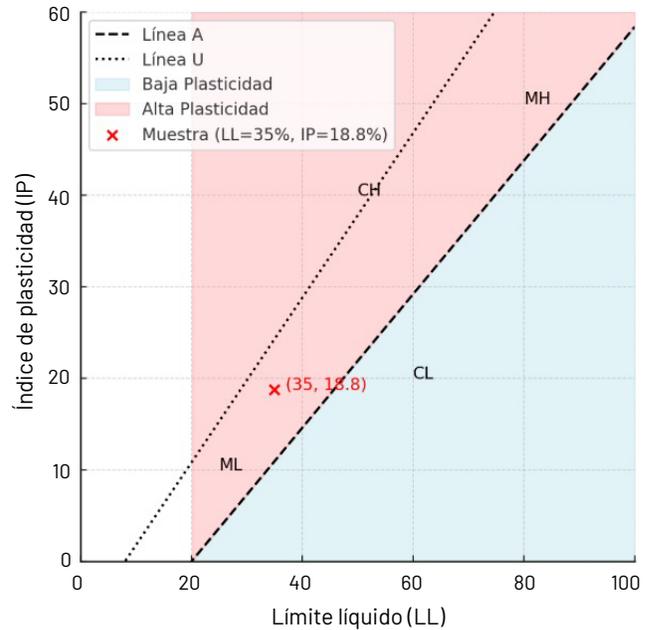


Figura 4. Grafica de plasticidad de Casagrande.

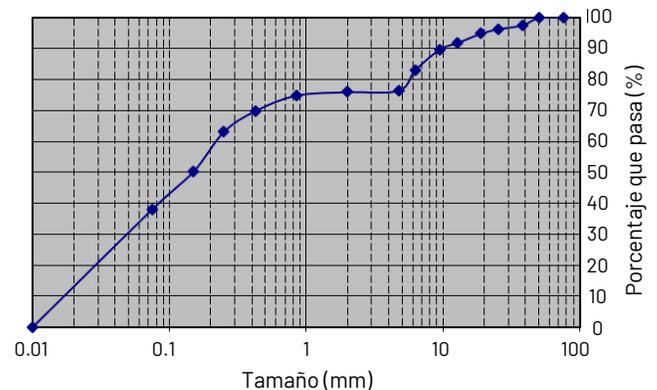


Figura 5. Curva granulométrica.

presenta una distribución de partículas medianamente uniforme. De acuerdo con los criterios establecidos por el SUCS, se observó que menos del 50% del material pasó a través de la malla número 4, lo que clasifica el suelo como un material granular, compuesto predominantemente por limos y arcillas. Esto implica que el adobe presenta una estructura granular que contribuye a su estabilidad mecánica y cohesión, permitiendo una adecuada compactación y resistencia a la compresión, al mismo tiempo que mantiene una buena trabajabilidad durante su fabricación y aplicación.

Discusión

Como mencionan Arroyo *et al.* (2013), es fundamental estudiar las propiedades físicas del suelo, ya que estas

influyen significativamente en las características mecánicas que presentará el bloque. Se considera que un adobe de buena calidad debe tener una densidad entre 1700 kg/m³ y 2000 kg/m³, lo que mejora sus propiedades mecánicas (Escalante y Piñeiros, 2022). En el estudio realizado, los parámetros obtenidos permitieron analizar ciertas características del suelo de la zona. Por ejemplo, el límite plástico (16.2%) indica que el suelo contiene una cantidad moderada de arcillas.

Las pruebas de granulometría y de límites de Atterberg permitieron clasificar el suelo como una arcilla de baja compresibilidad de tipo illita. Esta clasificación se debe a que su estructura laminar no presenta una expansión y contracción significativa en comparación con otros tipos de arcillas. Los resultados de las pruebas de contracción lineal fueron bajos, con un valor de 6.6%, lo que indica que el material es estable y reduce el riesgo de dilataciones, asentamientos o agrietamientos en los bloques.

Dado que en México no existe una normativa específica vigente para este tipo de material, se tomó como referencia la Norma de Diseño y Construcción con Tierra Reforzada E.080 (2017), la cual establece una resistencia mínima a compresión del adobe de 1 MPa. Aunque los resultados muestran una resistencia de 1.05 MPa, la diferencia con el valor requerido es mínima. Este mismo patrón se observa en los valores de resistencia a la flexión.

Al revisar la bibliografía, se observa que autores como Morales-Domínguez *et al.* (2007) han propuesto mejoras en las propiedades del adobe, logrando resistencias a compresión de hasta 10.79 MPa. Aunque las características actuales de nuestro material cumplen con la normativa vigente, lo hacen en un rango mínimo. Por lo tanto, esta investigación deja abierta la posibilidad de mejorar las propiedades del material para hacerlo más resistente y duradero.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del PRONAI 321260 del CONAHCYT, al laboratorio de materiales perteneciente al Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR IPN Unidad Oaxaca y al Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” por todas las facilidades proporcionadas.

Referencias

- Arroyo Matus R, Sánchez Tizapa S, Catalán Quiroz P (2013). Caracterización experimental de las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe del sur de México. *Ingeniería* 17(3):167-177. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46730914001.pdf>
- ASTM International (2018). Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils (ASTM D4318-95a).
- ASTM International (2020). Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates (ASTM C136/C136M-14).
- ASTM International (2020). Standard test methods for determining the water (moisture) content, ash content, and organic material of peat and other organic soils (ASTM D2974-20e1).
- ASTM International (2021). Standard test method for determination of density and unit weight of soil specimens (ASTM D7263-21).
- Banco Mundial (2022). Informe sobre el desarrollo mundial.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2023). Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social.
- Escalante D, Mendoza JLP (2022). Caracterización física y mecánica del adobe del centro histórico de Quito sometido a envejecimiento acelerado. *infoANALÍTICA* 10(2):81-96.
- Guerrero LF, Hastings I (2020). Transference of sustainable preservation techniques for building adobe dwellings in Ixtepec, Oaxaca, Mexico. *Journal of Traditional Building, Architecture and Urbanism* (1):474-484. doi: 10.51303/jtbau.vi1.372
- Morales-Domínguez VJ, Ortiz-Guzmán M, Alavéz-Ramírez R (2007). Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado. *Naturaleza y Desarrollo* 1:41-48.
- Norma E.080 (2020). Diseño y construcción con tierra reforzada. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento de Perú. URL:https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=109376
- Sánchez Calvillo A (2022). La vulnerabilidad sísmica de la vivienda vernácula de adobe en México: análisis constructivo y caracterización material para su conservación. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Tesis. URL:https://www.researchgate.net/profile/Adria-Sanchez-Calvillo/publication/365727077_La_vulnerabilidad_sismica_de_la_vivienda_vernacula_de_adobe_en_Mexico_analisis_constructivo_y_caracterizacion_material_para_su_conservacion/links/63803d7448124c2bc669643d/La-vulnerabilidad-sismica-de-la-vivienda-vernacula-de-adobe-en-Mexico-analisis-constructivo-y-caracterizacion-material-para-su-conservacion.pdf