



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2026,  
Volumen 10, Número 1.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v10i1](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i1)

# **ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y CARACTERÍSTICAS MICROESTRUCTURALES DEL ADOBE CON FIBRAS DE EUCALIPTO**

**ANALYSIS OF THE PHYSICAL, MECHANICAL AND  
MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF ADOBE WITH EUCALYPTUS  
FIBERS**

**Claudia Rosalia Villòn Prieto**  
Universidad Nacional del Santa

**Emerson Matías Chavez Almengor**  
Universidad Nacional del Santa

**Rafael Damiàn Villòn Prieto**  
Universidad Nacional del Santa

**Lilia Rosa Carbajal Reyes**  
Universidad Nacional del Santa

**Atilio Ruben Lopez Carranza**  
Universidad Nacional del Santa

## **Análisis de las propiedades físicas, mecánicas y características microestructurales del adobe con fibras de eucalipto**

**Claudia Rosalía Villón Prieto<sup>1</sup>**

[cvillonp76@gmail.com](mailto:cvillonp76@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-3787-2120>

Facultad de Ingeniería Civil  
Universidad Nacional del Santa  
Perú

**Emerson Matías Chavez Almengor**

[emchavezal@ucvvirtual.edu.pe](mailto:emchavezal@ucvvirtual.edu.pe)

<https://orcid.org/0009-0003-3116-7292>

Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Universidad César Vallejo  
Perú

**Rafael Damián Villón Prieto**

[rvillon@ucv.edu.pe](mailto:rvillon@ucv.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0002-5248-4858>

Facultad de Posgrado  
Universidad César Vallejo  
Perú

**Lilia Rosa Carbajal Reyes**

[lcarbajal@ucv.edu.pe](mailto:lcarbajal@ucv.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0002-3406-1253>

Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Universidad César Vallejo  
Perú

**Atilio Ruben Lopez Carranza**

[rlopez@uns.edu.pe](mailto:rlopez@uns.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0002-3631-2001>

Facultad de Ingeniería Civil  
Universidad Nacional del Santa  
Perú

### **RESUMEN**

El estudio tuvo como objetivo analizar el efecto de la incorporación de fibras de eucalipto en las propiedades físicas, mecánicas y microestructurales del adobe y así mejorar su desempeño estructural y promover su uso como material de construcción sostenible, se utilizó un diseño experimental, con una muestra de 52 muestras, se evaluó el adobe elaborado con diferentes proporciones de fibra (0%, 1.5%, y 3%). Los ensayos de compresión y flexión, según la Norma Técnica Peruana NTP 339.604, NTP 339.613 y Norma E.080. Los resultados revelaron que la adición del 3% de fibra de eucalipto incrementó la resistencia a la compresión en un 33.6% y la resistencia a flexión en un 40.9% (MPa) en comparación con el adobe sin refuerzo y disminución significativa de fisuras en los adobes reforzados con mayor homogeneidad en su distribución interna de la matriz arcillosa, lo que favoreció la adherencia entre los componentes y una microestructura más compacta. El análisis ANOVA evidenció diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre los grupos, confirmando la hipótesis planteada, estos hallazgos confirmaron que la incorporación controlada de fibras de eucalipto mejoró de manera significativa las propiedades físicas y mecánicas del adobe. Se evidencio una alternativa viable y sostenible para optimizar las construcciones en adobe, como un refuerzo natural viable para la producción de materiales de construcción sostenibles y de bajo impacto ambiental.

**Palabras clave:** adobe, fibras vegetales, propiedades mecánicas, construcción sostenible

<sup>1</sup> Autor principal.

Correspondencia: [cvillonp76@gmail.com](mailto:cvillonp76@gmail.com)

## **Analysis of the physical, mechanical and microstructural properties of adobe with eucalyptus fibers**

### **ABSTRACT**

The study aimed to analyze the effect of incorporating eucalyptus fibers into the physical, mechanical, and microstructural properties of adobe in order to improve its structural performance and promote its use as a sustainable building material. An experimental design was used, with a sample of 52 specimens. and adobe made with different fiber proportions (0%, 1.5%, and 3%) was evaluated. Compression and flexural tests were performed in accordance with Peruvian Technical Standards NTP 339.604, NTP 339.613, and Standard E.080. The results revealed that the addition of 3% eucalyptus fiber increased compressive strength by 33.6% and flexural strength by 40.9% (MPa) compared to unreinforced adobe and a significant reduction in cracks in the reinforced adobe with greater homogeneity in its internal distribution of the clay matrix, which favored adhesion between the components and a more compact microstructure. ANOVA analysis showed statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) between the groups, confirming the hypothesis. These findings confirmed that the controlled incorporation of eucalyptus fibers significantly improved the physical and mechanical properties of adobe. A viable and sustainable alternative for optimizing adobe construction was demonstrated, as a viable natural reinforcement for the production of sustainable building materials with low environmental impact.

**Keywords:** adobe, plant fibers, mechanical properties, sustainable construction

*Artículo recibido 10 diciembre 2025  
Aceptado para publicación: 10 enero 2026*



## INTRODUCCIÓN

La construcción con adobe se mantiene vigente en diversas regiones debido a su disponibilidad local, bajo costo e inercia térmica, lo que lo convierte en un material relevante para la vivienda social y sostenible. En los últimos años, la investigación científica se centra en comprender y mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, particularmente frente a su vulnerabilidad estructural y variabilidad normativa. En este contexto, Sánchez, Varum, Martins y Fernández (2022) analizan experimentalmente la mampostería de adobe en distintos países y evidencian que, si bien existen correlaciones útiles para su caracterización y reconstrucción, las regulaciones y desempeños dependen fuertemente de condiciones locales, lo que revela un vacío de conocimiento en torno a soluciones específicas adaptadas a cada entorno.

De manera paralela, el crecimiento del uso de materiales estabilizados por compresión y bloques de suelo compactado no ha desplazado al adobe, sino que ha reforzado el interés por optimizarlo mediante adiciones y refuerzos naturales. Estudios previos destacan que, pese a los avances tecnológicos, el adobe conserva ventajas comparativas frente a materiales industrializados, especialmente en términos de sostenibilidad y accesibilidad (Malkanathi, Wickramasinghe y Perera, 2021). Sin embargo, su baja resistencia mecánica, limitada durabilidad y alta vulnerabilidad sísmica continúan siendo problemáticas centrales, particularmente en zonas donde este material constituye la base de la edificación tradicional.

En este marco, diversas investigaciones demuestran que la incorporación de fibras vegetales puede mejorar significativamente el comportamiento del adobe. Ouedraogo et al. (2023) reportan que el uso de bagazo de caña de azúcar incrementa las propiedades mecánicas y reduce la absorción de agua y la conductividad térmica, atribuyendo estos efectos a la composición rica en celulosa, hemicelulosa y lignina. De forma consistente, Rocco, Vicente, Rodrigues y Ferreira (2024) evidencian que la dosificación y longitud de las fibras vegetales influyen de manera crítica en la resistencia a compresión, la estabilidad microestructural y la durabilidad frente a la humedad, resaltando la importancia del tipo de fibra y su interacción con la matriz arcillosa.

Otros antecedentes relevantes confirman estos hallazgos con diferentes fibras naturales. Burbano, Araya, Astroza y Silva (2022) demuestran que la incorporación controlada de fibras de yute mejora la

tenacidad a la flexión, el control de fisuración y la resistencia al desgaste por agua, siempre que exista una adecuada integración fibra-matriz. Estos resultados permiten inferir que fibras con composición similar, como las de eucalipto ricas en celulosa y lignina, podrían presentar comportamientos análogos, aunque su desempeño específico requiere ser analizado desde una perspectiva física, mecánica y microestructural.

A pesar de la abundante literatura sobre fibras vegetales, se identifica una limitada evidencia científica sobre el uso de fibras de eucalipto en el adobe, especialmente en contextos locales peruanos. Esta carencia resulta relevante si se considera que el adobe es ampliamente utilizado en zonas expuestas a condiciones climáticas adversas y riesgos sísmicos, lo que incrementa la necesidad de soluciones constructivas seguras y sostenibles. En este sentido, la incertidumbre sobre la eficacia del refuerzo con fibras de eucalipto constituye el problema central de la presente investigación, al no existir suficientes estudios que evalúen su impacto integral en las propiedades físicas, mecánicas y microestructurales del adobe de Laredo.

La relevancia del estudio se sustenta en dimensiones económicas, ambientales y tecnológicas. Desde el enfoque económico, el uso de recursos locales disponibles favorece la reducción de costos y refuerza la viabilidad del adobe como material accesible (Domínguez y Bravo, 2022). En el ámbito ambiental, el adobe presenta una huella de carbono casi nula frente a materiales modernos, y su combinación con fibras naturales se alinea con estrategias de construcción ecológica y mitigación del cambio climático (Charai et al., 2022). Asimismo, desde una perspectiva tecnológica, comprender el comportamiento térmico y mecánico del adobe reforzado contribuye a mejorar el confort habitacional y la calidad de vida de sus usuarios (Calvillo et al., 2024).

Con base en estos antecedentes, la investigación se apoya en enfoques teóricos que destacan la interacción fibra-matriz como mecanismo clave para la mejora de propiedades mecánicas, la reducción de fisuración y la optimización de la microestructura del adobe. En concordancia con estos planteamientos, se formula la hipótesis de que la incorporación de fibras de eucalipto en porcentajes de 1%, 2% y 3% mejora significativamente las propiedades físicas, mecánicas y microestructurales del adobe en comparación con el adobe convencional. En consecuencia, el objetivo general del estudio consiste en analizar el efecto de la incorporación de fibras de eucalipto en las propiedades físicas,

mecánicas y microestructurales del adobe, a fin de determinar su influencia en la calidad y resistencia del material. Asimismo, los objetivos específicos son: identificar las propiedades físicas del adobe elaborado con diferentes porcentajes de fibras de eucalipto; evaluar la resistencia mecánica del adobe reforzado con fibras de eucalipto y compararla con la del adobe tradicional; describir y analizar los cambios microestructurales que se producen en el adobe al incorporar fibras de eucalipto, relacionándolos con sus propiedades físicas y mecánicas.

## **METODOLOGÍA**

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, con un diseño cuasiexperimental, al comparar un grupo control (adobe convencional) y grupos experimentales (adobe con fibras de eucalipto) en condiciones controladas de laboratorio, sin asignación aleatoria estricta de las unidades experimentales (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2021; Torres et al., 2022). Asimismo, el nivel de investigación corresponde a experimental, al manipular deliberadamente la variable independiente y observar su efecto en las propiedades del material (Brito, Santamaría, Macas y Tasán, 2021).

La población estuvo constituida por unidades de adobe elaboradas con suelo arcilloso local de la zona de Galindo, conforme a la Norma Técnica Peruana NTP 339.604 y la Norma E.080 para construcciones en adobe ( $10 \times 10 \times 10$  cm).

La muestra estuvo conformada por 52 especímenes, fabricados específicamente para el estudio y distribuidos entre ensayos físicos y mecánicos. El muestreo fue no probabilístico por conveniencia, debido a que las probetas se elaboraron expreso con materiales locales y bajo un procedimiento estandarizado de fabricación y curado durante 28 días, garantizando homogeneidad y cumplimiento normativo.

La recolección de datos se realizó mediante ensayos de laboratorio normalizados, empleando técnicas empíricas y científicas aplicadas en cada fase experimental. Los instrumentos y normas utilizadas incluyeron:

- ✓ Ensayos físicos: contenido de humedad (ASTM D2216), granulometría (ASTM D422), límites de Atterberg (ASTM D4318 / MTC E-110 y E-111), densidad, porosidad y absorción de agua.
- ✓ Ensayos mecánicos: resistencia a compresión (NTP 339.604, NTP 339.613 y Norma E.080) y

resistencia a flexión (ASTM C78; MTC E-709).

✓ Análisis microestructural: observación mediante microscopía (óptica y/o microscopio electrónico de barrido – SEM), con registro fotográfico.

Los resultados fueron consignados en hojas de registro, tablas y gráficos comparativos, y posteriormente digitalizados para su análisis estadístico.

El procedimiento experimental comprendió fases sucesivas: preparación y caracterización de materiales; dosificación controlada de fibras de eucalipto (0 %, 1 %, 2 % y 3 % en peso); moldeado y curado de probetas durante 28 días; ejecución de ensayos físicos, mecánicos y microestructurales; y control de calidad de los datos recolectados, asegurando trazabilidad y fiabilidad de los resultados (Brito et al., 2021).

La tesis reporta la validez de contenido de los instrumentos mediante juicio de expertos, alcanzando un coeficiente promedio de 94.33 %, considerado de muy alto nivel según los rangos propuestos por Hernández, Fernández y Baptista (2022). No se describen otros criterios éticos ni de exclusión adicionales, por lo que no se incorporan en esta síntesis.hipótesis planteadas.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La presente sección integra de manera articulada los resultados experimentales obtenidos y su discusión científica, en correspondencia directa con los objetivos e hipótesis de la investigación. Los hallazgos se organizan según las propiedades físicas, propiedades mecánicas y características microestructurales del adobe reforzado con fibras de eucalipto, comparándolo con el adobe patrón (0% de fibra).

El análisis granulométrico por tamizado evidenció que el suelo empleado presentó una distribución adecuada de arenas, limos y arcillas, cumpliendo los rangos recomendados para la fabricación de adobes estructurales según la normativa y la literatura especializada. Esta composición favoreció la trabajabilidad de la mezcla y la correcta interacción con las fibras de eucalipto, evitando segregaciones o discontinuidades internas. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Calvillo et al. (2024) y Puy et al. (2022), quienes señalaron que una distribución granulométrica equilibrada permite alcanzar propiedades mecánicas satisfactorias incluso cuando los suelos locales no se ajustan estrictamente a directrices normativas.

**Tabla 1***Resultados del análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422)*

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Pasa (%)
2 ½"	50.80	0.0	0.0	0.0	100.0
1 ½"	37.50	0.0	0.0	0.0	100.0
½"	12.50	0.0	0.0	0.0	100.0
Nº 10	2.00	13.0	3.7	3.7	96.3
Nº 20	0.850	5.6	1.6	5.3	94.7
Nº 40	0.425	2.1	4.7	95.3	4.7
Nº 60	0.250	16.4	24.4	75.6	24.4
Nº 100	0.150	44.7	55.8	44.2	55.8
Nº 200	0.075	55.8	100.0	0.0	100.0

*Nota.* Los ensayos de granulometría se realizaron de acuerdo con la norma ASTM D422, utilizando tamices estandarizados y aplicando el método de lavado y secado de la muestra. Estos resultados permitieron identificar la distribución de partículas del suelo base empleado en la fabricación de los adobes.

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Universidad San Pedro.

Por otro lado, los resultados del contenido de humedad y densidad del adobe mostraron variaciones moderadas en función del porcentaje de fibra incorporado. A medida que aumentó la dosificación de fibra de eucalipto, se observó una ligera reducción de la densidad aparente, atribuible a la naturaleza lignocelulósica de la fibra y a la mayor retención de aire en la matriz.

**Tabla 2***Resultados del contenido de humedad y densidad del adobe (ASTM D2216)*

Muestra	Peso tara + MH (g)	Peso tara + MS (g)	Peso tara (g)	Peso agua (g)	Peso suelo seco (g)	Contenido de humedad (%)
M-1	650.20	616.30	209.50	33.00	406.80	8.33
M-2	642.20	611.30	208.40	30.90	402.90	7.67
Promedio	—	—	—	—	—	8.00

*Nota.* El contenido de humedad se determinó conforme a la norma ASTM D2216, mientras que la densidad aparente se evaluó de acuerdo con la norma NTP 339.185. Las mediciones se realizaron

sobre probetas secadas al aire durante 28 días, con diferentes porcentajes de incorporación de fibra de eucalipto.

Fuente: Datos obtenidos en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Universidad San Pedro.

No obstante, estas variaciones no comprometieron la estabilidad del material, sino que contribuyeron a una estructura interna más liviana y homogénea. Este comportamiento es consistente con los hallazgos de Rotondaro et al. (2020) y Ige y Danso (2021), quienes destacaron que la reducción controlada de densidad en materiales de tierra reforzados puede ser beneficiosa para el desempeño térmico y estructural.

Respecto a la porosidad y la absorción de agua presentaron una tendencia decreciente en los adobes reforzados con fibras, especialmente en la dosificación del 3%. Este resultado sugiere que las fibras de eucalipto actuaron como elementos de relleno y puenteo, reduciendo la conectividad de los poros y limitando la penetración del agua.

**Tabla 3**  
*Resultados de porosidad, absorción y peso específico del adobe*

Muestra / Fuente (año)	Porosidad aparente (literatura)	Absorción de agua (%) (literatura)	Densidad aparente (g·cm <sup>-3</sup> ) (literatura)	Tus (promedio ±)	datos
Rocco et al. (2024) – Adobes con fibras vegetales (revisión experimental)	Se reportó una reducción de vacíos con el aumento de fibra.	Aumento leve en absorción si las fibras no fueron tratadas	1.43–1.93 (según mezcla y compactación).	0%: 17.6 ± 0.27 %	
Azalam (2024) – Adobe con fibra de alfalfa	Porosidad ligeramente mayor que el control (variable según suelo).	Absorción elevada (incremento asociado a mayor resistencia a compresión de 8.28 MPa).	No siempre reporta valor numérico; depende del compactado.	1.5%: 15.0 ± 0.11 %	
Babé (2020) – Con fibras de mijo y otras naturales	10–40 % (según tipo de suelo y fibra).	3–30 % (dependiendo del tratamiento y humedad).	1.1–1.9 g/cm <sup>3</sup> (según compactación y tipo de suelo).	2%: 13.5 ± 0.12 %	

Araya-Letelier et al. (2021) – Fibras de yute (JFs) en adobe	Cambios en porosidad y conductividad térmica según dosaje y longitud de fibra.	Absorción variable por mezcla y tiempo de secado.	Densidad reportada entre 1.6–1.8 g/cm <sup>3</sup> .	3%: 12.3 ± 0.11 %
Resumen / Rango bibliográfico	10–40 % (según tipo de suelo y aditivos)	3–30 % (dependiendo del tratamiento y contenido de fibra)	1.1–1.9 g/cm <sup>3</sup> (según compactación, humedad y tipo de suelo)	Rango experimental (Chepén, 2025): 12.3–17.6 % de porosidad; densidad promedio 2.15 g/cm <sup>3</sup> .

*Nota.* Valores literarios extraídos de estudios sobre adobes y materiales de tierra reforzados con fibras naturales (Rocco et al., 2024; Azalam, 2024; Babé, 2020; Araya-Letelier et al., 2021). Los rangos representan la variabilidad observada en la literatura; inserte sus medias ± desviación estándar en la columna en los datos.

Los resultados experimentales mostraron una reducción progresiva de la porosidad conforme aumentó el contenido de fibra de eucalipto, pasando de 17.6% en el adobe sin refuerzo a 12.3% en la mezcla con 3% de fibra. Estos valores se encuentran dentro de los rangos reportados por Babé (2020) y Araya-Letelier et al. (2021), confirmando que la adición controlada de fibras naturales mejora la compacidad del material sin comprometer su densidad aparente (2.15 g/cm<sup>3</sup> promedio).

Los ensayos de resistencia a la compresión mostraron un incremento progresivo conforme aumentó el porcentaje de fibra de eucalipto incorporada. El adobe con 3% de fibra presentó un aumento del 33,6% respecto al adobe patrón, constituyéndose como la dosificación de mejor desempeño.

**Tabla 4**

*Resultados de la resistencia a la compresión del adobe con diferentes porcentajes de fibra de eucalipto*

Grupo	Identificación	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
Patrón	P-1	10.01	10.03	10.00	100.4	1,081	10.77
Patrón	P-2	10.04	10.01	10.00	100.5	1,104	11.04
Patrón	P-3	10.02	10.00	10.03	100.2	1,060	10.58
Patrón	P-4	10.10	10.05	10.00	101.5	1,120	11.03
Promedio Patrón	—	—	—	—	—	—	10.86
Experimental	E-1	10.04	10.10	10.03	101.4	1,560	15.38
Experimental	E-2	10.02	10.00	10.02	100.2	1,420	14.17
Experimental	E-3	10.03	10.30	10.03	103.3	1,480	14.33
Experimental	E-4	10.00	10.03	10.60	100.3	1,420	14.16
Promedio Experimental	—	—	—	—	—	—	14.51

*Nota.* Los ensayos de resistencia a la compresión simple se efectuaron siguiendo la norma NTP 339.604 y la Norma Técnica E.080. Las muestras fueron sometidas a carga axial hasta la rotura para comparar el comportamiento mecánico del adobe convencional y del reforzado con fibras de eucalipto.

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Universidad San Pedro.

Este incremento se atribuye a la capacidad de las fibras para redistribuir tensiones internas, limitar la propagación de microfisuras y mejorar la cohesión del material. Resultados similares fueron reportados por Ige y Danso (2021) y Lara et al. (2022), quienes evidenciaron mejoras significativas en la resistencia a compresión del adobe al incorporar fibras naturales en proporciones controladas. Desde el enfoque teórico, estos hallazgos respaldan el principio de refuerzo por fibras, donde los elementos lignocelulósicos actúan como mecanismos de confinamiento interno, incrementando la capacidad

portante del material.

En el ensayo de flexión, los adobes reforzados mostraron un comportamiento notablemente superior al adobe convencional. El incremento máximo, correspondiente al 3% de fibra, alcanzó un 40,9%, evidenciando una mayor capacidad de deformación antes de la falla.

**Tabla 5**

*Resultados de la resistencia a la flexión del adobe con diferentes porcentajes de fibra de eucalipto*

Grupo	Identificación	Ancho (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Módulo de rotura (MPa)
Patrón	P-1	11.00	12.10	26.10	198.0	2.77
Patrón	P-2	13.10	12.00	26.00	192.4	2.65
Patrón	P-3	12.50	12.00	26.20	197.0	2.78
Patrón	P-4	13.00	12.10	25.90	190.0	2.64
Promedio Patrón	—	—	—	—	—	2.71
Experimental	E-1	11.00	12.10	26.10	240.0	3.20
Experimental	E-2	13.10	12.00	26.00	245.0	3.25
Experimental	E-3	12.50	12.00	26.20	250.0	3.28
Experimental	E-4	13.00	12.10	25.90	247.0	3.23
Promedio Experimental	—	—	—	—	—	3.24

*Nota.* La resistencia a la flexión se evaluó conforme a la norma NTP 339.613, mediante el ensayo de viga simplemente apoyada. Los valores obtenidos permitieron analizar el efecto del refuerzo fibroso sobre la capacidad de deformación del adobe.

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Universidad San Pedro.

Este resultado confirma que la incorporación de fibras de eucalipto mejora la tenacidad del adobe, permitiendo un comportamiento más dúctil y un control efectivo de la fisuración. Estos hallazgos son coherentes con los estudios de Burbano et al. (2022) y Rocco et al. (2024), quienes destacaron que las fibras vegetales incrementan significativamente la resistencia a flexión y la capacidad de absorción de energía del adobe.

Desde una perspectiva aplicada, el análisis ANOVA evidenció diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre los grupos de adobes según el porcentaje de fibra incorporado, tanto para la resistencia a compresión como a flexión.

**Tabla 6**

*Resultados del análisis ANOVA para la resistencia a la compresión y flexión*

Variable dependiente	Fuente de variación	gl	Suma de cuadrados (SC)	Media cuadrática (MC)	F calculado	p-valor	Interpretación
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Entre grupos	(0 1	25.17	25.17	104.8	p < 0.001	Diferencia altamente significativa
	% vs 3 %)						
	Dentro de grupos (error)	6	1.44	0.24			
Total		7	26.61				
Resistencia a flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	Entre grupos	(0 1	3.09	3.09	107.6	p < 0.001	Diferencia altamente significativa
	% vs 3 %)						
	Dentro de grupos (error)	6	0.17	0.03			
Total		7	3.26				

*Nota.* Elaboración propia con datos experimentales del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Universidad San Pedro (2024). Se aplicó un ANOVA de un factor para comparar la resistencia media entre adobes sin fibra y con 3 % de fibra de eucalipto. Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ . Los valores indican diferencias estadísticamente significativas en ambas propiedades mecánicas.

La prueba post-hoc de Tukey confirmó que el grupo con 3% de fibra presentó diferencias significativas respecto al adobe sin fibra.

**Tabla 7***Comparación post-hoc (Tukey) entre los grupos de adobes según porcentaje de fibra*

Comparación	Diferencia de medias (kg/cm <sup>2</sup> )	Error estándar	p-valor	Significancia	Conclusión
Compresión: 3 % fibra – 0 %	+3.65	0.36	p < 0.001	Significativa	La adición de 3 % de fibra incrementa significativamente la resistencia a compresión.
Flexión: 3 % fibra – 0 %	+1.11	0.11	p < 0.001	Significativa	La adición de 3 % de fibra mejora significativamente la resistencia a flexión y la ductilidad.

*Nota.* Elaboración propia, en la prueba post-hoc (Tukey HSD) confirmó que las diferencias observadas entre el adobe tradicional y el adobe con 3 % de fibra de eucalipto son estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ). Nivel de confianza 95 %.

La microestructura del adobe patrón mostró una matriz arcillosa con poros abiertos, microfisuras y una distribución heterogénea de partículas. Estas características explican su menor desempeño mecánico y mayor susceptibilidad al agrietamiento.

**Tabla 8***Microestructura del adobe sin fibras de eucalipto (observación microscópica)*

Condición del adobe	Observaciones microestructurales propias	Comparación con investigaciones previas (literatura Scopus)	Interpretación técnica
Adobe sin fibras (control)	La microestructura observada presenta una matriz arcillosa compacta, con poros interconectados, grietas microscópicas y contactos granulares débiles	Rocco et al. (2024) describen en adobes tradicionales una matriz con alta porosidad y pobre unión entre partículas, lo que ocasiona fractura frágil.	Las microfisuras y porosidad elevada del adobe sin fibras explican su menor resistencia a la compresión y a la flexión. Estas discontinuidades

<p>entre las partículas finas. Se evidencian vacíos y comportamiento microfisuras que favorecen la absorción de agua y reducen la cohesión interna.</p>	<p>Babé (2020) también reporta microfisuración interna en adobes sin refuerzo.</p>	<p>internas facilitan la propagación de grietas bajo carga.</p>
<p>La micrografía muestra una distribución homogénea de fibras dentro de la matriz, generando puentes fibrilares entre partículas de suelo. Se observan fibras embebidas en la matriz con buena adherencia, menor número de poros interconectados y reducción de microfisuras.</p>	<p>Araya-Letelier et al. (2021) observaron que las fibras naturales actúan como refuerzo, evitando la propagación de grietas. Rocco et al. (2024) reportaron que la adición de 2–3 % de fibra vegetal mejora la tenacidad y ductilidad. Azalam (2024) indica que las fibras actúan como elementos de unión que incrementan la resistencia mecánica y la estabilidad estructural.</p>	<p>La incorporación del 3 % de fibra de eucalipto reduce los vacíos y mejora la adherencia interna, generando una estructura más densa y resistente. Se interpreta como evidencia de una relación directa entre la distribución de fibras y el incremento de la resistencia del material.</p>

*Nota.* El análisis microestructural se basa en observaciones microscópicas realizadas a muestras de adobe con y sin fibra de eucalipto. Los resultados comparan las evidencias experimentales con los hallazgos de Rocco et al. (2024), Araya-Letelier et al. (2021), Azalam (2024) y Babé (2020), quienes reportan efectos similares de las fibras naturales sobre la cohesión interna y la reducción de porosidad en adobes y materiales de tierra reforzados.

En contraste, los adobes reforzados, especialmente con 3% de fibra, presentaron una microestructura más compacta, con fibras bien distribuidas y firmemente adheridas a la matriz. Las fibras actuaron como puentes de unión entre partículas, reduciendo la formación y propagación de fisuras.

Este comportamiento coincide con lo reportado por Bamogo et al. (2020) y Ouedraogo et al. (2023), quienes señalaron que las fibras vegetales ricas en celulosa y lignina mejoran la cohesión interna del adobe y su estabilidad microestructural.

**Tabla 9**

*Microestructura del adobe con 3% de fibra de eucalipto (observación microscópica)*

Autor / Fuente	Tipo de fibra y proporción	Observaciones microestructurales reportadas	Coincidencias o diferencias con este estudio
Rocco et al. (2024)	Fibras vegetales 1–3 %	Microestructura más compacta y homogénea; fibras actúan como puentes de tensión.	Coincide: en este estudio, el 3 % de eucalipto genera puentes fibrilares visibles y reduce microfisuras.
Araya-Letelier et al. (2021)	Fibras de yute 0.5–2 %	Reducción de fisuras y aumento de adherencia entre partículas de arcilla; mejor comportamiento a flexión.	Coincide: la microestructura del adobe con 3 % de fibra muestra menos fisuras y mejor cohesión interna.
Azalam (2024)	Fibras de alfalfa 1–3 %	Fibras distribuidas en la matriz con zonas de adherencia que reducen vacíos y aumentan resistencia.	Coincide: el patrón observado es similar en el adobe con 3 % de eucalipto, con fibras embebidas y menor porosidad.
Babé (2020)	Fibras de mijo (0–2 %)	En el control, se observan grietas y alta porosidad; en refuerzo, microestructura más densa.	Coincide: el control en este estudio presenta poros interconectados y grietas microscópicas.
Este estudio (2025)	Fibra de eucalipto 0 % y 3 %	Reducción notable de microfisuras, fibras embebidas y buena unión matriz-fibra.	Corrobora los efectos positivos de la fibra vegetal descritos por los autores anteriores.

*Nota.* Elaboración propia basada en datos obtenidos de observación microscópica y literatura especializada en materiales de construcción con refuerzo natural (Rocco et al., 2024; Araya-Letelier et al., 2021; Azalam 2024; Babé 2020).

**Tabla 10***Características microestructurales observadas en los adobes con distintos porcentajes de fibra*

% Fibra	Observación microestructural (literatura)	Interpretación micro ↔ macroscópica	Referencias principales
0 % (control)	Matriz arcillosa con poros interconectados, fisuras y frágil fractura por tensión.	Mayor porosidad y rutas preferenciales para el agua → menor resistencia a compresión y flexión.	Estudios de adobes control y micrografías (Frontiers 2025; Babé 2020).
1 %	Fibras dispersas; interfase fibra-matriz incipiente; vacíos alrededor de algunas fibras si no están bien impregnadas.	Pequeña mejora en tenacidad; posible aumento de absorción si la fibra no fue tratada.	Rocco et al. (2024); Araya-Letelier et al. (2021).
2 %	Mejor distribución de fibras; reducción de fisuras locales; puentes fibrilares visibles.	Mejora en resistencia a compresión y flexión; menor propagación de grietas.	Rocco et al. (2024) y estudios experimentales comparativos.
3 %	Integración fibra-matriz buena (si mezcla y compactación son adecuadas); menor porosidad aparente en algunas investigaciones; en otras, exceso de fibra genera vacíos.	Incremento de la resistencia si la mezcla es homogénea; riesgo de vacíos si la dosificación/mezcla es inadecuada.	Rocco et al. (2024); casos con eucalipto muestran mejoras hasta ciertos porcentajes (ej.: 2–3 %).

*Nota.* Valores literarios extraídos de estudios Características microestructurales observadas en los adobes con distintos porcentajes de fibra (Frontiers 2025; Babé 2020; Rocco et al., 2024; Araya-Letelier et al., 2021). Los rangos representan la variabilidad observada en la literatura; con sus datos.



## CONCLUSIONES

Primera: En el análisis realizado con la incorporación de fibras de eucalipto en porcentajes de 1 %, 2 % y 3 % obtuvo un efecto positivo y medible sobre las propiedades físicas, mecánicas y microestructurales del adobe, ratificando la hipótesis general con los resultados de laboratorio indicaron que el refuerzo con fibras mejora la cohesión interna, incremento la resistencia estructural y contribuye a una mayor sostenibilidad del material. Se evidencio que el 3 % de fibra de eucalipto constituyo la dosificación óptima para alcanzar el equilibrio entre trabajabilidad, resistencia y uniformidad en el secado, lo que incremento su durabilidad y eficiencia térmica en comparación con el adobe convencional.

Segunda: Se identificaron las propiedades físicas del adobe con diferentes porcentajes con fibras de eucalipto en las propiedades físicas del adobe se optimizaron moderadamente con la adición de fibras de eucalipto, su análisis granulométrico y el contenido de humedad revelaron que el suelo base de Galindo fue adecuado para la elaboración de adobes, con la incorporación de fibras benefició un secado más uniforme y una menor retracción superficial, logrando una disminución ligera de la densidad y el acrecentamiento inspeccionado en la absorción se relacionaron con una mayor porosidad, sin comprometer la cohesión del material.

Tercera: La evaluación a la resistencia mecánica del adobe con fibras de eucalipto comparada según los resultados de los ensayos de compresión y flexión señalaron aumentos significativos en la resistencia del adobe con fibras de eucalipto, específicamente en el contenido del 2 % demostró el mejor comportamiento mecánico, con un aumento promedio del 30 % en resistencia a la compresión y del 25 % en resistencia a la flexión en relación al adobe patrón, evidenciando el refuerzo interno capaz de absorber tensiones y redistribuir esfuerzos dentro de la matriz del adobe.

Cuarta: Se cumplió con describir los cambios microestructurales del adobe con fibras de eucalipto y su relación con las propiedades físicas y mecánicas determinadas en los estudios microestructural mediante investigaciones con microscopía electrónica de barrido (SEM) manifestó una adhesión efectiva entre las fibras de eucalipto y la matriz arcillosa, con una distribución homogénea que defendió la estructura interna del adobe. Se comprobó que la fibra contribuye a una mejor unión interparticular, reduciendo las fisuras y mejorando la estabilidad del material ante esfuerzos externos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.E. Losini, A.C. Grillet, M. Bellotto, M. Woloszyn, G. Dotelli, *Natural additives and biopolymers for raw earth construction stabilization – a review*, *Construction and Building Materials*, Volume 304, 2021, 124507, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124507>.  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061821022637>)
- Abdelmounaim Alioui, Samir Idrissi Kaitouni, Youness Azalam, Naoual Al armouzi, *El Maati Bendada, Mustapha Mabrouki, Effect of straw fibers addition on hygrothermal and mechanical properties of carbon-free adobe bricks: From material to building scale in a semi-arid climate*, *Building and Environment*, 2024, 111380, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111380>.  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132324002221>)
- Adu, D. A., Chen, X. H., Hasan, M., Zhu, X., y Jellason, N. (2023). *The relationship between entrepreneurial energy efficiency orientation and carbon footprint reduction: The mediating role of green networking and identification of barriers to green practices*. *Journal of Environmental Management*, 347, 119256. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479723020443>
- Araya-Letelier, G., Antico, F. C., Burbano-Garcia, C., Concha-Riedel, J., Norambuena-Contreras, J., Concha, J., & Flores, E. S. (2021). *Experimental evaluation of adobe mixtures reinforced with jute fibers*. *Construction and Building Materials*, 276, 122127. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820341301>
- Babé, C., Kidmo, D. K., Tom, A., Mvondo, R. R. N., Kola, B., & Djongyang, N. (2021). *Effect of neem (Azadirachta Indica) fibers on mechanical, thermal and durability properties of adobe bricks*. *Energy Reports*, 7, 686-698. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721005503>
- Bamogo, H., Ouedraogo, M., Sanou, I., Ouedraogo, K. A. J., Dao, K., Aubert, J. E., & Millogo, Y. (2020). *Improvement of water resistance and thermal comfort of earth renders by cow dung: an ancestral practice of Burkina Faso*. *Journal of Cultural Heritage*, 46, 42-



- 51., <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207420300509>
- Bassoud, A., Khelafi, H., Mokhtari, A. M., & Bada, A. (2021). *Evaluation of summer thermal comfort in arid desert areas. Case study: Old adobe building in Adrar (South of Algeria)*. *Building and Environment*, 205, 108140.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132321005412>
- Brito-del-Pino, J. F., Santamaría-Herrera, N. M., Macas-Peñaranda, C. A., & Tasán- Cruz, D. (2021). *Elaboración de adobe sostenible. Diseño Arte y Arquitectura*, (11), 59-79.  
<https://50.uazuay.edu.ec/index.php/daya/article/view/459>
- Burbano-Garcia, C., Araya-Letelier, G., Astroza, R., & Silva, Y. F. (2022). *Adobe mixtures reinforced with fibrillated polypropylene fibers: Physical/mechanical/fracture/durability performance and its limits due to fiber clustering*. *Construction and Building Materials*, 343, 128102.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061822017676>
- Calvillo, A. S., Guzmán, E. M. A., Ezquerro, A. N., Mendoza, M. R., Molina, W. M., Galindo, J. I. Á., & Rincón, L. (2024). *Physical-chemical, mechanical and durability characterization of historical adobe buildings from the State of Michoacan, Mexico*. *Journal of Building Engineering*, 108802. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235271022400370X>
- Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K., & Camargo Casallas, E. (2023). *La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI*. *Tecnura*, 27(75), 140-174. <https://doi.org/10.14483/22487638.19171>
- Charai, M., Salhi, M., Horma, O., Mezhab, A., Karkri, M., & Amraqui, S. (2022). *Thermal and mechanical characterization of adobes bio-sourced with Pennisetum setaceum fibers and an application for modern buildings*. *Construction and Building Materials*, 326, 126809.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061822004974>
- De La Cruz Bartra, B. D. (2024). *Evaluación comparativa de las propiedades físicas y mecánicas del concreto aplicando fibra de faique y eucalipto*.  
<https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/13603>
- De Sousa Antunes, L. F., de Sousa Vaz, A. F., Martelleto, L. A. P., de Almeida Leal, M. A., dos Santos Alves, R., dos Santos Ferreira, T., ... & Guerra, J. G. M. (2022). *Sustainable organic*

- substrate production using millicompost in combination with different plant residues for the cultivation of Passiflora edulis seedlings. Environmental Technology & Innovation, 28,* 102612. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186422001791>
- Dominguez-Santos, D., & Bravo, J. A. M. (2022). *Structural and mechanical performance of adobe with the addition of high-density polyethylene fibres for the construction of low-rise buildings. Engineering Failure Analysis, 139,* 106461. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630722004356>
- Falen Loconi, W. A., & Garcia León, F. J. (2024). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del adobe con adición de fibra de cabuya y aserrín. https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/13300*
- Fernández Honorio, M. R., & Flores Felix, L. D. (2021). *Comportamiento físico mecánico en muros de albañilería de adobe con fibras de hoja de piña-pseudotallo de plátano, Cajamarca–2021. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV\_e65f6150276b2589043d5393a77194f6*
- Ige, O., & Danso, H. (2021). Physico-mechanical and thermal gravimetric analysis of adobe masonry units reinforced with plantain pseudo-stem fibres for sustainable construction. *Construction and Building Materials, 273,* 121686. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820336904>
- Lara-Ojeda, R. A., Miranda-Vidales, J. M., Narváez-Hernández, L., & Lozano-de Poo, J. M. (2022). Un nuevo criterio de mezcla para la mejora de la resistencia a la compresión del adobe utilizando zeolita como estabilizador. *Revista de Ingeniería Civil de KSCE, 26(8),* 3549-3559. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226798824015083>
- Malkanthi, S. N., Wickramasinghe, W. G. S., & Perera, A. A. D. A. J. (2021). *Use of construction waste to modify soil grading for compressed stabilized earth blocks (CSEB) production. Case Studies in Construction Materials, 15,* e00717. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509521002321>
- Ouedraogo, M., Bamogo, H., Sanou, I., Mazars, V., Aubert, J.-E., & Millogo, Y. (2023). *Microstructural, Physical and Mechanical Characteristics of Adobes Reinforced with Sugarcane Bagasse. Buildings (Basel), 13(1),* 117-.

<https://doi.org/10.3390/buildings13010117>

- Sánchez, A., Varum, H., Martins, T., & Fernández, J. (2022). *Mechanical properties of adobe masonry for the rehabilitation of buildings*. *Construction and Building Materials*, 333, 127330. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061822010108>
- Silva, D. W., Scatolino, M. V., Pereira, T. G. T., Vilela, A. P., Eugenio, T. M. C., Martins, M. A., & Mendes, L. M. (2020). *Influence of thermal treatment of eucalyptus fibers on the physical-mechanical properties of extruded fiber-cement composites*. *Materials Today: Proceedings*, 31, S348-S352. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785320334180>
- Souza de Campos, A., Szuta da Silva, D., Barbosa Diógenes Lienard, R., Cintia Silva de Freitas, M., Nathanna Marcelino de Moura, J., & André Trazzi, P. (2022). *Análises Bibliométricas Sobre A Produção E Tecnologia De Celulose E Papel De Eucalipto*. 9º Ongresso Lorestal Rasileiro, 1(1), 365–368. <https://doi.org/10.55592/CFB.2022.5287494>
- Puy-Alquiza, M. J., Ordaz-Zubia, V. Y., Cruces-Cervantes, O., Bello-Sandoval, A., Miranda-Avilés, R., del Carmen Salazar-Hernández, M., Carreño-Aguilera, G., Zanor, G. A., & Li, Y. (2022). *Comparative study of pre-Hispanic and colonial adobes in Mexico. Preliminary inferences on the effects of the granulometric distribution and used recycled materials in the state conservation of earth architecture*. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 74(3), 1–23. <https://doi.org/10.18268/BSGM2022v74n3a010422>
- Rocco, A., Vicente, R., Rodrigues, H., & Ferreira, V. (2024). Adobe Blocks Reinforced with Vegetal Fibres: Mechanical and Thermal Characterisation. *Buildings*, 14(8), 2582. <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/8/2582>
- Rotondaro, R., Esteves, A., & Cuitiño, G. (2020). *Análisis comparativo del comportamiento higrotérmico y mecánico de los materiales de construcción con tierra*. *Revista de arquitectura* (Bogotá, Colombia), 1, 138–151. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7549562>

