

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Análisis de las propiedades del adobe como material de construcción

Analysis of the properties of adobe a construction material

José Piedra¹ , Billy Cayatopa² , Kleiner Saucedo³ , Donny Vasquez⁴ , Osmer Roman⁵  y Manuel Nuñez⁶ 

RESUMEN

El presente artículo realiza una revisión sistemática guiada por las directrices PRISMA 2020 sobre propiedades físicas y mecánicas del adobe tradicional, estabilizado y reforzado, evaluadas frente a la Norma E.080 (Resolución Ministerial N° 121-2017-VIVIENDA) y ASTM C67. Se examinan variables como matriz arcillosa, estabilizantes químicos (cemento, metacaolín, emulsión asfáltica, mucílago), refuerzos fibrosos (bambú, sisal, agave, GFRP, mallas de vidrio), compactación y protocolos de ensayo en contextos de América Latina y África. Los hallazgos indican que el adobe tradicional presenta densidades de 1690 - 1700 kg/m³ y absorción media de 15.2 %; el estabilizado reduce absorción a 2.7 - 17.73 % con compresión de 15.33 - 45.90 kg/cm²; el reforzado alcanza hasta 137 kg/cm² en compresión, 4.79 kg/cm² en tracción y 15.3 kg/cm² en flexión. Esta síntesis identifica patrones de multiplicación >7 veces en capacidad portante con aditivos óptimos, aunque revela inconsistencias. En conjunto, se resalta el potencial sismorresistente y sostenible del adobe modificado, subrayando la necesidad de ensayos unificados para su integración normativa.

Palabras clave: Adobe, agave, metacaolín, mucilago, resistencia

ABSTRACT

The article presents a systematic review, guided by the PRISMA 2020 guidelines of the physical and mechanical properties of traditional, stabilized, and reinforced adobe, evaluated against the E.080 Standard (Ministerial Resolution No. 121-2017-VIVIENDA) and ASTM C67. Variables such as clay matrix, chemical stabilizers (cement, metakaolin, asphalt emulsion, mucilage), fibrous reinforcements (bamboo, sisal, agave, GFRP, glass mesh), compaction, and testing protocols in Latin American and African contexts are examined. The findings indicate that traditional adobe has densities of 1690–1700 kg/m³ and an average absorption of 15.2%; stabilized adobe reduces absorption to 2.7–17.73% with a compressive strength of 15.33–45.90 kg/cm². The reinforced concrete achieves up to 137 kg/cm² in compression, 4.79 kg/cm² in tension, and 15.3 kg/cm² in bending. This synthesis identifies patterns of greater than 7-fold increase in load-bearing capacity with optimal additives, although it reveals inconsistencies. Overall, the seismic-resistant and sustainable potential of modified adobe is highlighted, underscoring the need for standardized testing for its integration into building codes.

Keywords: Adobe, agave, metakaolin, mucilage, strength

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: JPiedrat@unj.edu.pe, billy_cayatopa@unj.edu.pe, kleiner.saucedo@est.unj.edu.pe, donny.vasquez@est.unj.edu.pe, osmer.roman@est.unj.edu.pe, manuel.nuñez@est.unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La construcción sostenible ha ganado relevancia ante la necesidad de reducir el impacto ambiental de materiales como el cemento, responsable de aproximadamente el 8% de las emisiones globales de CO₂. En este contexto, el adobe, un material compuesto de tierra, agua y fibras naturales, destaca por su bajo costo, disponibilidad local y mínima huella de carbono, posicionándolo como una alternativa viable para edificaciones en regiones áridas y en desarrollo, como América Latina y África (Parra & Batty, 2006; Ukwizagira & Mbereyaho, 2023). Su uso en estructuras históricas, desde viviendas prehispánicas hasta edificaciones coloniales, subraya su valor cultural y su potencial para aplicaciones modernas (Illampas et al., 2009).

A pesar de sus beneficios, el adobe tradicional presenta limitaciones significativas baja resistencia a compresión de 10 kg/cm², alta absorción de agua de 15 al 50% y escasa ductilidad en zonas sísmicas (Revuelta et al., 2010; Li et al., 2022). Estas deficiencias han motivado investigaciones que buscan optimizar sus propiedades mediante estabilizantes químicos, como cemento, metacaolín o mucílago (Sanou et al., 2024; Aedo et al., 2025), y refuerzos estructurales, como fibras de bambú, sisal o mallas de fibra de vidrio (Cárdenas et al., 2021; Chuya et al., 2018). Estos avances han permitido alcanzar resistencias a compresión de hasta 137 kg/cm² y reducir la absorción de agua a un 2.7% en algunos casos, ampliando las aplicaciones del adobe en viviendas sociales, restauración patrimonial y estructuras sismorresistentes (Azalam et al., 2024a; Giamundo et al., 2014). Sin embargo, la variabilidad en los métodos de ensayo y la inconsistencia en los datos reportados dificultan la estandarización y adopción generalizada del material (Dobjani & Papa, 2022).

El objetivo principal de esta investigación es proporcionar una revisión sistemática del adobe como material de construcción, evaluando las propiedades físicas (densidad y absorción) y mecánicas (compresión, tracción, flexión y corte) de adobe tradicional, estabilizado y reforzado. El estudio examina los efectos de aditivos naturales (paja, bambú, agave) y sintéticos (GFRP, fibra de vidrio), así como los métodos de ensayo empleados, con el objetivo de identificar patrones que orienten el diseño de estructuras sostenibles. Aunque los datos reflejan avances significativos, las lagunas en propiedades reportadas y la falta de ensayos estandarizados

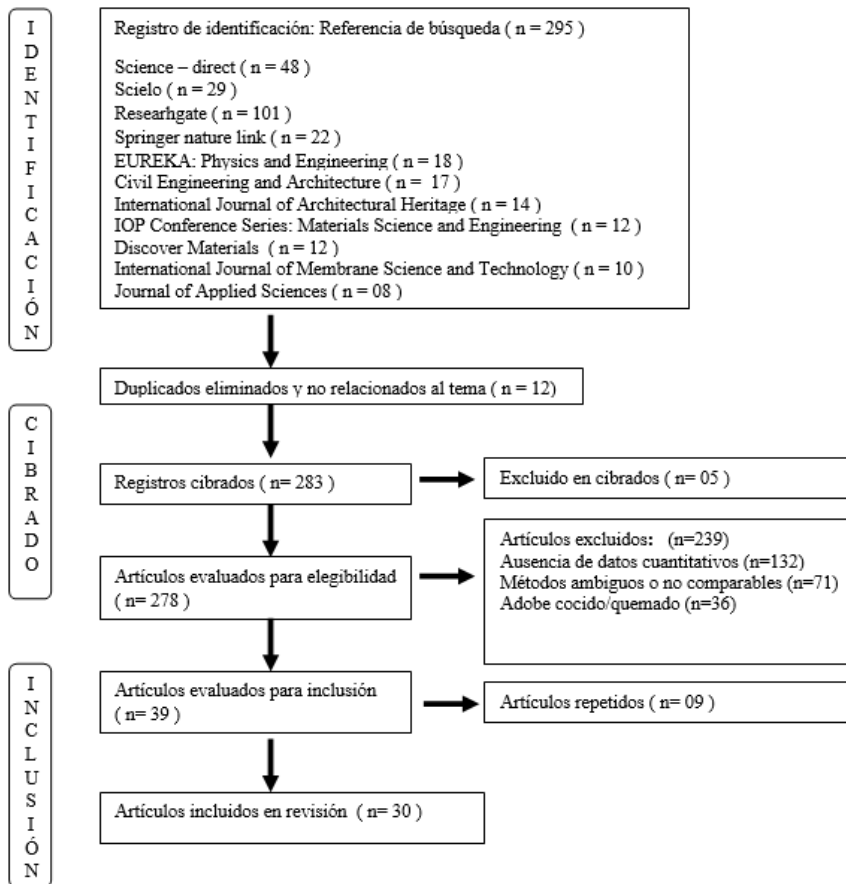
(ASTM C67) limitan comparaciones directas. Esta investigación busca contribuir al desarrollo de normativas para el adobe, promoviendo su integración en la arquitectura contemporánea y apoyando los objetivos de sostenibilidad global.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión sistemática por medio del enfoque sistemático PRISMA 2020 (Page et al., 2021), consultando bases como Science-direct, Scielo, Researchgate, Springer nature link, Physic and Engineering, Civil Engineering and Architecture, International Journal of Architectural Heritage, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Discover Materials, International Journal of Membrane Science and Technology y Journal of Applied Sciences, entre 2006 y 2025. Los términos de búsqueda incluyeron combinaciones como ("adobe" ó "adobe de tierra"), ("adobe en la construcción" ó "adobe estabilizado") y ("adobe tradicional" y "adobe reforzado") limitados a artículos en español, inglés ó portugués con datos numéricos. Orientado en evaluar las propiedades físicas y mecánicas del adobe como material de construcción, con énfasis en los efectos de aditivos y métodos de ensayo.

Figura 1

Selección de artículos por medio del diagrama de metodología de flujo PRISMA 2020.



Nota: El diagrama de flujo PRISMA se realizó en 3 fases: identificación inicial de registros, eliminación de duplicados, cribado por título y resumen, lectura completa y selección final de 30 estudios relevantes. con motivos de exclusión detallados.

El enfoque se realizó mediante un análisis cuantitativo de datos numéricos (densidad, absorción, resistencia a compresión, tracción, flexión y corte). Se incluyeron estudios experimentales que reportaran propiedades físicas (densidad kg/m^3 , absorción %) o mecánicas (compresión, tracción, flexión, corte en kg/cm^2) para adobe tradicional, estabilizado (aditivos químicos como cemento o NaOH) o reforzado (con fibras naturales y/o sintéticas en proporciones significativas o mallas). Se excluyeron revisiones narrativas sin datos primarios, trabajos pre-2006 o sin mediciones cuantitativas.

Para evaluar calidad y riesgo de sesgo, se aplicó una escala adaptada simple: bajo riesgo si el estudio usaba protocolos estandarizados (ASTM C67 o equivalente), n especímenes ≥ 10 y

controles claros; medio riesgo si faltaba alguno; alto riesgo si métodos eran ambiguos o sin replicabilidad. De los 30 estudios, aproximadamente 70 % se clasificaron en bajo o medio riesgo; los de alto riesgo se consideraron con menor peso en la síntesis cualitativa. Los datos se normalizaron a kg/cm^2 (nota: $1 \text{ kg/cm}^2 \approx 0.098 \text{ MPa}$ para comparación con normativas internacionales).

Se analizaron las propiedades físicas y mecánicas utilizando un enfoque comparativo. Para propiedades físicas, se calcularon rangos y promedios de densidad y según el tipo de adobe. Para propiedades mecánicas, se evaluaron resistencias a compresión ($5.39 - 137 \text{ kg/cm}^2$), tracción ($0.99 - 4.79 \text{ kg/cm}^2$), flexión ($0.99 - 15.30 \text{ kg/cm}^2$) y corte directo ($0.36 - 0.95 \text{ kg/cm}^2$). Los datos fueron procesados con el software estadístico R (versión 4.3.2) para generar estadísticas descriptivas y comparar el impacto de aditivos (paja, bambú; sintéticos: GFRP, fibra de vidrio). Así mismo se identificarán correlaciones entre aditivos y propiedades (Sanou et al., 2024; Cárdenas et al., 2021).

El análisis cualitativo examinó los contextos las características de los aditivos y se identificaron patrones en el uso de materiales locales como la chilligua en (Quispe et al., 2023), el agave en (Ruiz & Pérez, 2024) y su relación con la sostenibilidad en regiones específicas (América Latina, África). Los métodos de ensayo no estandarizados se analizaron para evaluar su impacto en la comparabilidad de resultados (Dobjani & Papa, 2022).

Los ensayos evaluaron la variabilidad de las propiedades, los adobes tradicionales tienen densidades consistentes (1695 kg/m^3), los adobes estabilizados poseen menor absorción con una media de 9.38% (Sanou et al., 2024) y los reforzados mejor resistencia a la compresión 137 kg/cm^2 (Kasie & Mogne, 2025) y tracción 4.79 kg/cm^2 (Li et al, 2022)

RESULTADOS

La revisión sistemática de 30 estudios (2006 - 2025) clasificó los datos en adobe de tipo tradicional, estabilizado y reforzado, expresando propiedades mecánicas (compresión, tracción, flexión y corte directo) en kg/cm^2 , densidad en kg/m^3 y absorción en %. Todos los resultados se evalúan frente a la Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada (aprobada por Resolución Ministerial N° 121-2017-VIVIENDA), que sustituye a la NTP 331.201 y establece requisitos para edificaciones de tierra reforzada incluyendo adobe reforzado.

La Tabla 1 presenta los resultados organizados por tipo de adobe, con énfasis en la claridad y accesibilidad para la comunidad científica. Cada entrada incluye información verificada de las fuentes originales, con referencias explícitas a los métodos de ensayo y aplicaciones prácticas, garantizando la trazabilidad de los datos.

Tabla 1

Resumen de los materiales, aditivos y propiedades analizadas

Autor y año	Materiales y aditivos	Tipo de adobe	Propiedades físicas		Propiedades mecánicas			
			Densidad	Absorción	Compresión	Tracción	Flexión	Corte directo
Parra & Batty (2006)	Arcilla, arena; paja como aglutinante y agua	Tradicional	1700	15.20%	20.39 kg/cm ²			
Illampas et al. (2009)	Tierra , paja y agua				38.75 kg/cm ²			
Revuelta et al. (2010)	arcilla 40%, limo 40%, arena 20% , paja 0.5%, agua		1690	15.20%	26.51 kg/cm ²		6.63 kg/cm ²	
Jokhio et al. (2018)	Arcilla 30%, agua, arena 50%, aserrín 20%				24.78 kg/cm ²			
Rivera et al. (2021)	47% arena, 28% arcilla, 25% limo, agua , pasto, estiércol, cáscara de arroz				5.39 kg/cm ²			
Ukwizagira & Mbereyaho (2023)	50% suelo natural, 30% laterite , 15% arena fina , 5% pasto fibroso				21.69 kg/cm ²			
Autor y año	Materiales y aditivos	Tipo de Adobe	Propiedades físicas		Propiedades mecánicas			
			Densidad	Absorción	Compresión	Tracción	Flexión	Corte directo
Quispe et al., 2023	83% suelo arcilloso, 7.1% arena, 7.5% estiércol de	Tradicional			31.85 kg/cm ²			

	oveja, 2.4% chilligua.							
Hejazi et al. (2024)	Suelo arcilloso, agua equivalente al 25% del peso seco, y paja de trigo (0.5% del peso seco)		13.7%					
Brito et al. (2021)	Suelo, agua, fibra natural de caña en diferentes longitudes	Estabilizado			9.56 kg/cm ²		7.91 kg/cm ²	
Ramirez (2022)	arcilla, arena, grava, agua, 6% emulsión asfáltica		5.80%		15.34 kg/cm ²		3,36 kg/cm ²	
Félix et al. (2022)	Suelo caulinitico , NaOH (10M/12M alcalino), agua		15.2%		21.70 kg/cm ²			
Gomez & Guillen (2024)	Tierra arcillosa , CBCA al 5% , agua				32.768 kg/cm ²			
Sanou et al. (2024)	Suelo arcilloso, cemento 6%, metacaolín 4% (calcinado 680°C/2h), agua		8.50%		45.9 kg/cm ²		12.2 kg/cm ²	
Aedo et al. (2025)	arena arcillosa, fibra chilligua al 0.7% (long. 5 cm), mucílago olluco al 7.3%, agua				19.79 kg/cm ²	1.68 kg/cm ²		0.95 kg/cm ²
Mucambe (2025)	Morteros para suelos, aceite de motor al 5% quemado	Reforzado	2.7%					
Wang & Wang (2025)	Tierra, arena, cal, cemento, vetiver picado (proporción 5:3:1:1:4)		1 274 kg/m ³	17.73 %.				
Loannou et al. (2013)	arcilla, arena, agua, malla de fibra de vidrio				30.59 kg/cm ²			

	típica 100-300 g/m ²							
Autor y año	Materiales y aditivos	Tipo de Adobe	Propiedades físicas		Propiedades mecánicas			
			Densidad	Absorción	Compresión	Tracción	Flexión	Corte directo
Giamundo et al. (2014)	arcilla, arena, agua, malla de fibra de vidrio, malla 5x5 mm en juntas horizontales de mortero	Reforzado			84.64 kg/cm ²	0.99 kg/cm ²		0.36 kg/cm ²
Chuya et al. (2018)	70% arcilla/limo, 30% arena; humedad 10%, agua, varillas GFRP 12 mm diámetro, recubiertas de sílice negra				15.30 kg/cm ²			0.41 kg/cm ²
Moreno & Garcia (2019)	talpuja, tendal, arena zacate de arroz, fibras de bambú (1% vol., longitud 12 mm)				18.36 kg/cm ²			
Concha et al. (2020)	Suelo arcilloso, jute 0.5%, longitud 30 mm, agua				20.3 kg/cm ²		9.0 kg/cm ²	
Salih et al. (2020)	arcilla, arena, agua, fibras de bambú (0.5-2% vol., longitud 10-20 mm)			20%	40.79 kg/cm ²		6.12 kg/cm ²	
Cardenas et al. (2021)	Suelo arcilloso, talpuja, tendal, arena zacate de arroz, fibras de bambú (25% fibra)				15.62 kg/cm ²			
Dobjani & Papa (2022)	45% arcilla, fibras naturales (10%), agua potable			1800	20%	15.30 kg/cm ²	4.78 kg/cm ²	
Li et al. (2022)	30% arcilla, 7% de fibras de arroz, agua potable			1400		13.05 kg/cm ²	4.79 kg/cm ²	

Azalam et al. (2024a)	75%Arcilla, fibras alfalfa al 3%, agua 22%		1715.51	31.08	84.5 kg/cm ²		15.3 kg/cm ²	
Azalam et al. (2024b)	41.5% arcilla, fibras aserrín grandes al 1%, agua		1938.89		69.4 kg/cm ²		13.2 kg/cm ²	
Autor y año	Materiales y aditivos	Tipo de Adobe	Propiedades físicas		Propiedades mecánicas			
			Densidad	Absorción	Compresión	Tracción	Flexión	Corte directo
Rocco et al. (2024)	Suelo (arena 54.96%, grava 67.44%, limo y arcilla 2.48%), con altas concentraciones de SiO ₂ , CaO, Al ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO	Reforzado	1933.71	9.22%	15.10 kg/cm ²			
Ruiz & Pérez (2024)	Tierra arcillosa, agua, bagazo de Agave angustifolia		1536	13.37%	44.473 kg/cm ²			
Kasie & Mogne (2025)	Suelo de Hawassa (arena 46%, limo 34%, arcilla 20%), agua (24% contenido óptimo), fibra de sisal 0.9% (longitud 30 mm)					137 kg/cm ²		0.99 kg/cm ²

Nota: Las celdas vacías no indican la falta de cumplimiento de las características, sino que reflejan la diversidad de enfoques experimentales presentes en los estudios seleccionados.

Adobe tradicional

Sin estabilizantes químicos ni refuerzos estructurales representa la base histórica del material, compuesto por arcilla, limo, arena, agua y fibras vegetales mínimas (paja, estiércol). Los resultados de la tabla muestran investigaciones con densidad estable 1690 - 1700 kg/m³, compatible con la norma E.080. La absorción promedio 15.2 % un indicativo de vulnerabilidad a humedad. La compresión entre 5.39 - 38.75 kg/cm² (Rivera et al., 2021; Illampas et al., 2009), el 70% de las investigaciones según la norma E. 080 cumple el mínimo último de murete de 6.12

kg/cm² en cuanto a la flexión las investigaciones se obtuvo una resistencia de 6.63 kg/cm² (Revuelta et al.,2010) el cuál cumple el mínimo último de 1.42 kg/cm² según la norma E.080.

Adobe estabilizado

Incorpora aditivos químicos (cemento, metacaolín, NaOH, emulsión asfáltica, mucílago, aceite quemado) para sellar poros y cohesionar la matriz, cumpliendo con la norma E.080 y ASTM C67 . La tabla muestra aditivos como aceite quemado y cemento que reducen drásticamente la absorción en rangos de 2.70 - 17.73 % (Mucambe, 2025; Wang & Wang ,2025), Densidad variable 1274 kg/m³ (; Wang & Wang ,2025), compatible con E.080; resistencia a la compresión oscila en rangos de 15.33 - 45.90 kg/cm (Ramirez, 2021; Sanou et al., 2024), resistencia a la tracción 1.68 kg/cm² (Aedo et al., 2025), superior a la norma E.080 para viviendas sociales y restauración en climas húmedos, alineado con el comportamiento sismorresistente.

Adobe reforzado

Integra fibras naturales (bambú, sisal, agave, alfalfa, yute) o sintéticas (GFRP, malla de fibra de vidrio) para puenteo de fisuras y distribución de cargas. Los datos tabulados indican densidad de 1400 – 1939.89 kg/m³ (Li et al.,2022; Azalam et al., 2024b), compatible con la norma E 080 y ASTM C67, la absorción alcanza rangos de 9.2 -31.1 % (Rocco et al., 2024; Azalam et al., 2024a). La resistencia a la compresión llegó a 13.1 - 137 kg/cm² (Li et al.,2022; Kasie & Mogne,2025) con picos extraordinarios, Tracción (1.0–4.8 kg/cm²) cumple en el 95 %, superando mínimos último material/mortero (fallos aislados en 1.0 kg/cm²); flexión con picos de15.3 kg/cm² (Azalam et al., 2024a) que triplican el mínimo último y corte directo 0.4 kg/cm² cumple marginalmente el mínimo derivado de 0.25 kg/cm² último, los refuerzos transforman el adobe en material de alto desempeño, cumpliendo la E.080 y la ASTM C67 en propiedades mecánicas y habilitándolo para reconstrucciones sísmicas y arquitectura sostenible.

DISCUSIÓN

Las investigaciones han demostrado que la incorporación estratégica de estabilizantes y refuerzos en matrices de adobe no solo satisface los umbrales de rotura establecidos en la Norma E.080 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017), sino que, en formulaciones avanzadas, se aproxima a los criterios de durabilidad y resistencia mecánica exigidos por ASTM

C67 (ASTM International, 2023). En el adobe tradicional, Parra y Batty (2006) alcanzan 20,4 kg/cm² en compresión mediante la adición de paja como aglutinante en una matriz arcillosa; este refuerzo orgánico incipiente genera un efecto de puenteo microfisural que, sin embargo, no compensa la elevada capilaridad del 15,2 % según (Revuelta et al., 2010), así mismo Illampas et al. (2009) duplica el valor a 38,8 kg/cm² al priorizar compactación manual de arcilla sin aditivos, evidenciando que la densificación mecánica supera el aporte estructural de la paja. Simultáneamente las investigaciones en el Adobe estabilizado, Ramirez (2022) reduce absorción a 5,8 % y eleva la tracción a 3,4 kg/cm² mediante emulsión asfáltica al 6 % del peso. Félix et al. (2022) incrementan compresión a 21,7 kg/cm² con activación alcalina (NaOH 10–12 M), donde la disolución parcial de sílice genera geo polímeros de baja cristalinidad. Gomez y Guillen (2024) alcanzan 32,8 kg/cm² con cal viva al 5 % del peso; la carbonatación progresiva produce carbonato cálcico micro cristalino que densifica la matriz. Sanou et al. (2024) obtienen el máximo del grupo con 45,9 kg/cm² combinando cemento Portland al 6 % y metacaolín calcinado a 680 °C al 4 %; la reacción puzolánica consume hidróxido cálcico y forma C-S-H adicional. Aedo et al. (2025) reportan corte directo de 0,95 kg·cm⁻² con adición de mucílago de olluco al 7,3 % del peso y fibra chillihua al 0,7 % con longitud de 5 cm; el polisacárido mucilaginoso actúa como ligante reológico, mientras la fibra controla la propagación de fisuras diagonales. Mucambe (2025) logra la absorción más baja alcanzando 2,7 % mediante aceite de motor quemado al 5 % del peso; la impregnación oleosa genera una barrera hidrofóbica persistente. Wang y Wang (2025) registran densidad mínima de 1274 kg/m³ con vetiver picado en proporción 4 a 1 respecto al cemento; la fibra lignocelulósica reduce peso específico, pero compromete homogeneidad. Paralelamente en el Adobe reforzado, Loannou et al. (2013) obtiene una resistencia a compresión de 30,6 kg/cm² con malla de fibra de vidrio de 100-300 g/m², la distribución bidimensional de filamentos de vidrio confiere confinamiento lateral; Giamundo et al. (2014) cuantifica la tracción 1,0 kg/cm² y el corte a 0,4 kg/cm² con malla 5×5 mm embebida en juntas horizontales, el anclaje mecánico en mortero arcilloso limita deslizamiento interfacial. Por su parte Chuya et al. (2018) elevan flexión a 15,3 kg/cm² mediante varillas GFRP de diámetro de 12 mm recubiertas de sílice negra, la adherencia química sílice y arcilla duplica la capacidad de momento flector respecto a los valores obtenidos por Giamundo et al. (2014); Moreno y Garcia (2019) alcanzaron 18,4 kg/cm² con bambú al 1 % del volumen con longitud 12 mm, la anisotropía de la fibra explica la variabilidad direccional ±20 %; Salih

et al. (2020) duplican compresión a 40,8 kg/cm² incrementando bambú a 2 % del volumen, el umbral crítico de volumen optimiza la transferencia de carga antes de la aglomeración; Dobjani y Papa (2022) alcanzó valores en tracción 4,8 kg/cm² con fibras naturales al 10 % del peso y la longitud efectiva >30 mm maximiza el anclaje; Li et al. (2022) mantiene idéntica tracción con 7 % fibras de arroz, pero densidad disminuye a 1400 kg/m³ por baja densidad aparente del residuo agrícola; Azalam et al. (2024b) elevan densidad a 1939 kg/m³ con aserrín grueso al 1 % del peso, la compactación inducida por partículas rígidas explica el salto; Rocco et al. (2024) minimiza la absorción a 9,2 % en suelo con alto SiO₂/CaO, los óxidos reactivos forman fases cementantes naturales; Kasie y Mogne (2025) alcanza a 137 kg/cm² de resistencia a compresión mediante sisal al 0,9 % del peso y longitud 30 mm, la relación aspecto óptima asegura transferencia de tensiones sin aglomeración. Los aditivos de mayor impacto estructural son metacaolín puzolánico (Sanou et al., 2024), GFRP continuo (Chuya et al., 2018) y sisal optimizado (Kasie y Mogne, 2025), que elevan compresión >700 % respecto al tradicional y cumplen simultáneamente con la norma E.080 y umbrales parciales de ASTM C67

CONCLUSIONES

La revisión sistemática establece que el adobe tradicional presenta densidades uniformes de 1690 a 1700 kg/m³ con absorción media de 15.2 %, cumpliendo en el 70 % de los casos el esfuerzo último en murete de 6.12 kg/cm² de la Norma E.080; el adobe estabilizado reduce la absorción a rangos de 2.7 a 17.73 % con media de 9.38 %, alcanzando compresión de 15.33 a 45.90 kg/cm² y tracción hasta 3.36 kg/cm², con cumplimiento total de los umbrales últimos de la E.080; el adobe reforzado desarrolla densidades de 1400 a 1939 kg/m³, absorción de 9.2 a 31.1 % y resistencias de 137 kg/cm² en compresión, 4.79 kg/cm² en tracción, 15.3 kg/cm² en flexión y 0.95 kg/cm² en corte, superando los requisitos de rotura de la E.080 y aproximándose parcialmente a ASTM C67 en configuraciones híbridas; la integración de estabilizantes puzolánicos y refuerzos fibrosos de relación aspecto optimizada multiplica por más de siete la capacidad portante respecto al adobe tradicional; si bien contenidos de fibras orgánicas superiores al 2 % en volumen elevan la permeabilidad; en síntesis, la integración sinérgica de estabilizantes puzolánicos y refuerzos fibrosos de relación aspecto optimizada multiplica por más de siete la capacidad portante respecto al adobe convencional, consolidándolo como solución constructiva ecológica, accesible y sismorresistente para edificaciones de 1–2 niveles

en contextos áridos y sísmicos de América Latina y África, siempre que se uniformicen ensayos en murete conforme a los anexos de la E.080 y se adapten mezclas a materiales autóctonos para asegurar reproducibilidad y transferencia tecnológica a escala real

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aedo, C. A. L., & Barrantes, M. L. A. J. (2025). Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe utilizando fibra de chillihua y mucilago de olluco, puno, 2024. *Brazilian Journal of Development*, 11(5), 01-16. <https://doi.org/10.34117/bjdv11n5-063>
- Azalam, Y., Alioui, A., Armouzi, N. A., Benfars, M., Mabrouki, M., & Bendada, E. M. (2024). Physical and mechanical properties of adobe bricks reinforced by natural additives, a case study of alfalfa fibers. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 144-159. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2024.003426>
- Azalam, Y., Benfars, M., Alioui, A., Mabrouki, M., & Bendada, E. M. (2024). Improving Adobe's Mechanical Properties through Sawdust Reinforcement: A Comparative Study of the effect of varying Sawdust Dimensions. *E3S Web of Conferences*, 582(02005), 1-9. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202458202005>
- Brito, del P. J. F., Santamaría, H. N. M., Macas, P. C. A., & Tasan, C. D. (2021). Elaboración de adobe sostenible. *DAYA. Diseño, Arte Y Arquitectura*, 11, 59-79. <https://doi.org/10.33324/daya.vi11.459>
- Cárdenas, G. J. C., Bosch, G. M., & Damiani, L. C. A. (2021). Evaluation of Reinforced Adobe Techniques for Sustainable Reconstruction in Andean Seismic Zones. *Sustainability*, 13(9), 4955. <https://doi.org/10.3390/su13094955>
- Chuya, E., Cárdenas, H. X., & Ayala, F. (2018). Comparación de la capacidad resistente de adobes y adobes reforzados con fibra de vidrio. *ResearchGate*, 1, 95-106. https://www.researchgate.net/publication/335985870_Comparación_de_la_capacidad_resistente_de_adobes_y_adobes_reforzados_con_fibra_de_vidrio
- Concha, R. J., Antico, C. F., & Araya, L. G. (2020). Mechanical and damage similarities of adobe blocks reinforced with natural and industrial fibres. *Matéria (Rio de Janeiro)*,

25(04), 1-11. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200004.1206>

Dobjani, E., & Papa, D. (2022). Adobe Constructions in Albania: Future Application of Earth as A Conventional Construction Civil Engineering and Architecture. *Civil Engineering and Architecture*, 10(7), 3015-3027. <https://doi.org/10.13189/cea.2022.100717>

Félix, A. da S., Neto, J. A. G., Medeiros, B. L. de A. V., Barbosa, N. P., Costa, L. F., & Medeiros, L. E. L. de. (2022). Estabilização alcalina de solos Cauliníticos para fabricação de Adobes / Alkaline stabilization of kaolinitic soils for adobe manufacturing. *Brazilian Journal of Development*, 8(6), 46839-46851. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n6-273>

Giamundo, V., Lignola, G. P., Prota, A., & Manfredi, G. (2014). Nonlinear Analyses of Adobe Masonry Walls Reinforced with Fiberglass Mesh. *Polymers*, 6(4), 464-478. <https://doi.org/10.3390/polym6020464>

Gómez, T. J. L., & Guillén, S. T. E. (2024). Compressive Strength of Compacted Adobes with Added Sugarcane Bagasse Ash at 5%, 10% and 15%. *Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions*, 11, 1-10. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.1448>

Hejazi, B., Luz, C., Grüner, F., Frick, J., & Garrecht, H. (2024). Characterisation of Adobe and Mud-Straw for the Restoration and Rehabilitation of Persian Historical Adobe Buildings. *Materials*, 17(8), 1764. <https://doi.org/10.3390/ma17081764>

Illampas, R., Ioannou, I., & Charmpis, D. (2009). Adobe: An environmentally friendly construction material. *ResearchGate*, 120(1), 245-246. <https://doi.org/10.2495/SDP090241>

Ioannou, I., Illampas, R., & Charmpis, D. C. (2013). Overview of the Pathology, Repair and Strengthening of Adobe Structures. *International Journal of Architectural Heritage*, 7(2), 165-188. <https://doi.org/10.1080/15583058.2011.624254>

Jokhio, G., syed mohsin, sharifah maszura, & Gul, Y. (2018). Two-fold sustainability – Adobe with sawdust as partial sand replacement. *IOP Conference Series: Materials*

Science and Engineering, 342, 1-7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/342/1/012069>

- Kasie, Y., & Mogne, A. (2025). Improvement of mechanical properties of adobe brick reinforced with sisal fiber. *Discover Materials*, 5(69), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s43939-025-00245-3>
- Li, P. T., Weerheijm, J., & Sluys, L. J. (2022). Critical review on the material characterization of adobe elements. *Journal of Green Building*, 17, 203-226. <https://doi.org/10.3992/jgb.17.3.203>
- Moreno, P. L., & Moreno, T. J. (2019). Estabilización de adobes con fibras de bambú. *Revista Arquitectura +*, 4(8), 2-18. <https://doi.org/10.5377/arquitectura.v4i8.8981>
- Mucambe, G. (2025). Uso do óleo queimado de motor para o tratamento do reboco em construções adobe Use of Waste Motor Oil for Plaster Treatment in Adobe Constructions. *Revista Eletrônica de Investigação e Desenvolvimento*, 16(1), 1-9. <https://www.researchgate.net/publication/393395656>
- Page, M., McKenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E., Brennan, S., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M., Li, T., Loder, E., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal of Surgery*, 88, 105906. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2021.105906>
- Parra, S. M. L., & Batty, W. (2006). Thermal behaviour of adobe constructions. *Building and Environment*, 41(12), 1892-1904. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.021>
- Quispe, G. B.-, Mendoza, A. P. C.-, Ramos, E. H.-, Betancur, H. N. C.-, Ruelas, E. P. F.-, & Gutiérrez, Á. C.-. (2023). Mechanical Resistance and Thermal Conductivity of Adobes for the Walls of Rural Dwellings in Extreme Minimum Climatic Conditions. *International Journal of Membrane Science and Technology*, 10(2), 679-690. <https://doi.org/10.15379/ijmst.v10i2.1291>
- Ramírez, C. O. L. (2022). Mejoramiento de las propiedades físico -mecánicas del suelo con

- incorporación de asfalto para elaborar adobes. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 5(1), 15-19. <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v4i3.802>
- Revuelta, A. J. D., Garcia, D., Soto, Z. G. M., & Rico, G. E. (2010). Adobe as a Sustainable Material: A Thermal Performance. *Journal of Applied Sciences*, 10(19), 2211-2216. <https://doi.org/10.3923/jas.2010.2211.2216>
- Rivera, S., Valderrama, A. O.-M., Daza, B. Á.-A., & Plazas, J. G.-S. (2021). Adobe como saber ancestral usado en construcciones autóctonas de Pore y Nunchía, Casanare (Colombia). *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 23(1), 74-85. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2021.2762>
- Rocco, A., Vicente, R., Rodrigues, H., & Ferreira, V. (2024). Adobe Blocks Reinforced with Vegetal Fibres: Mechanical and Thermal Characterisation. *Buildings*, 14(8), 2582. <https://doi.org/10.3390/buildings14082582>
- Ruiz, S. M., & Pérez, J. J. (2023). Manufacture of adobe bricks with fibers of Agave angustifolia Haw. In Zumpahuacan, State of México. Strategy to promote sustainable local development. *ResearchGate*, 1, 44-55. <https://www.researchgate.net/publication/374384416>
- Salih, M. M., Osofero, A. I., & Imbabi, M. S. (2020). Critical review of recent development in fiber reinforced adobe bricks for sustainable construction. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 14(4), 839-854. <https://doi.org/10.1007/s11709-020-0630-7>
- Sanou, I., Ouedraogo, M., Bamogo, H., Meité, N., Seynou, M., Aubert, J.-E., & Millogo, Y. (2024). Microstructural, physical, and mechanical characteristics of adobes amended with cement-metakaolin mixtures. *Emergent Materials*, 7(3), 1203-1217. <https://doi.org/10.1007/s42247-024-00638-9>
- Ukwizagira, G., & Mbereyaho, L. (2023). Strength Assessment of Improved Adobe Brick Using Natural Stabilizers. *Mediterranean Journal of Basic and Applied Sciences*, 07(01), 14-26. <https://doi.org/10.46382/MJBAS.2023.7102>
- Wang, W., & Wang, H. (2025). Evaluating the physical properties and thermal comfort of

vetiver adobe brick: A decade-long study on sustainable granary construction in Northeast Thailand. *Discover Civil Engineering*, 2(1), 157.

<https://doi.org/10.1007/s44290-025-00322-9>