

Evaluation of compressive strength in units and stacks of Adobe improved with Maguey fibers and Prickly pear gel

Ali Alvaro Alvino Alborno¹; Rojas Laurencio Fray David²;

^{1,2}Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, U20201B876@upc.edu.pe, U20201b722@upc.edu.pe

Abstract– The impact of adding maguey fibers and prickly pear gel on the compressive strength of adobe, a construction material traditionally used in rural areas of developing countries, is evaluated. Globally, between 20% and 25% of the population in these regions lives in homes built with raw earth. In Peru, 27.9% of homes are made of adobe, a figure that exceeds 55% in the department of Huánuco. In the Chacabamba district, 87.3% of homes are made of this material, which has low structural strength and is highly vulnerable to intense rainfall. Four experimental mixtures were designed: a standard sample without additives and three combinations with 2.5% maguey fibers and 5%, 10%, and 15% prickly pear gel, respectively. Compression tests were conducted on both individual units and piles of adobe. The results show that the mixture with 2.5% Maguey fibers and 15% gel achieved average strengths of 15.12 kg/cm² in units and 10.09 kg/cm² in piles, surpassing the standard design by 44.55% and 53.11%, respectively. These improvements exceed the minimum values established by Peruvian Technical Standard E.080, demonstrating the technical viability of using natural additives as a sustainable, economical, and effective alternative for structurally strengthening adobe in rural areas vulnerable to extreme climatic conditions.

Keywords- Adobe, Fiber, Gel, Stack, Compression.

Evaluación de la resistencia a la compresión en unidades y en pilas de Adobe mejorado con fibras de Maguey y gel de penca de Tuna

Ali Alvaro Alvino Alborno¹; Rojas Laurencio Fray David²;

^{1,2}Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, U20201B876@upc.edu.pe, U20201b722@upc.edu.pe

Resumen—Se evalúa el impacto de la adición de fibras de maguey y gel de penca de tuna en la resistencia a la compresión del adobe, un material de construcción tradicionalmente utilizado en zonas rurales de países en desarrollo. A nivel global, entre el 20% y el 25% de la población, en dichas regiones habita viviendas construidas con tierra cruda. En el Perú, el 27.9% de las viviendas son de adobe, cifra que supera el 55% en el departamento de Huánuco. Particularmente, en el distrito de Chacabamba, el 87.3% de las viviendas están hechas con este material, el cual presenta baja resistencia estructural y alta vulnerabilidad frente a condiciones de pluviosidad intensa. Se diseñaron cuatro mezclas experimentales: una muestra patrón sin aditivos y tres combinaciones con 2.5% de fibras de maguey y 5%, 10% y 15% de gel de penca de tuna, respectivamente. Las pruebas de compresión se realizaron tanto en unidades individuales como en pilas de adobe. Los resultados muestran que la mezcla con 2.5% de maguey y 15% de gel alcanzó resistencias promedio de 15.12 kg/cm² en unidades y 10.09 kg/cm² en pilas, superando al diseño patrón en un 44.55% y 53.11%, respectivamente. Estas mejoras superan los valores mínimos establecidos por la Norma Técnica Peruana E.080, lo que demuestra la viabilidad técnica del uso de aditivos naturales como alternativa sostenible, económica y eficaz para fortalecer estructuralmente el adobe en contextos rurales vulnerables a condiciones climáticas extremas.

Palabras clave— Adobe, Fibra, Gel, Pila, Compresión.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, se estima que entre el 20% y el 25% de la población en países en desarrollo habita viviendas construidas con tierra cruda, como el adobe, debido a su bajo costo y disponibilidad local [1]. En el Perú el adobe es un material de construcción ampliamente utilizado en zonas rurales debido a su bajo costo y propiedades térmicas. Según [2], aproximadamente el 27.9% de las viviendas en el Perú están construidas con adobe, lo que representa más de 2 millones de viviendas. En el departamento de Huánuco, esta cifra es aún más alta, con un 55.3% de las viviendas construidas con adobe, lo que resalta la importancia de este material en la región. En el distrito de Chacabamba, ubicado en Huánuco y caracterizado por condiciones de alta pluviosidad, el 87.3% de las viviendas están hechas de adobe. Esta situación subraya la vulnerabilidad de las viviendas ante las lluvias intensas y prolongadas, lo que acelera la degradación del adobe, comprometiendo la estabilidad estructural de las edificaciones y afectando la calidad de vida de sus habitantes.

Diversos estudios han investigado la incorporación de aditivos naturales para mejorar la durabilidad y resistencia del adobe. Estudios revelan que añadiendo un 2% de paja triturada, se logra una reducción del 16.2% en la porosidad y un incremento del 56% en resistencia a la flexión [3]. Asimismo, el diseñar con una mezcla de ichu y pino en proporciones de 2.55% y 2.5%, se obtiene una resistencia a la compresión de hasta 35.65 kg/cm² y mejoras en la flexión de entre 18.03% y 23.70% [4].

Por otro lado, estudios con mucílagos naturales han mostrado resultados prometedores. Se investigaron con el gel de penca de tuna, encontrando que un 20% de adición mejoraba la resistencia a la compresión hasta 22 kg/cm², superando el valor mínimo de la Norma E-080 [5]. Asimismo, se reportó que un 9% de goma de aloe vera aumentó la resistencia a 22.839 kg/cm² [6]. Además, al emplear hasta un 3% de bagazo de caña, se observa un incremento de 48.96% en la resistencia de cubos de adobe y 23.85% en muros [7]. Estos estudios subrayan la eficacia de los aditivos naturales para fortalecer el adobe, aunque sigue siendo necesario profundizar en su análisis en estructuras bajo carga real.

Este trabajo propone la adición de fibras de maguey y gel de penca de tuna en el adobe, con el objetivo de evaluar su impacto en la resistencia a la compresión en unidades y pilas de adobe. Para ello, se diseñaron cuatro muestras: una muestra patrón sin aditivos y tres con diferentes proporciones de fibras de maguey (2.5%) y gel de penca de tuna (5%, 10%, 15%). Cada mezcla fue sometida a ensayos de compresión para evaluar su desempeño mecánico. Este enfoque experimental permite una comparación directa del comportamiento de las unidades individuales y de las pilas, proporcionando un análisis detallado de su rendimiento bajo cargas.

Este estudio introduce un enfoque innovador al evaluar la resistencia a la compresión tanto en unidades individuales como en pilas de adobe mejorado con fibras de maguey y gel de penca de tuna. A diferencia de investigaciones previas centradas en unidades aisladas, el análisis de pilas simula el comportamiento real del adobe en muros y elementos estructurales bajo carga, ofreciendo datos más aplicables a la construcción. Además, la combinación de maguey y gel de penca de tuna, materiales sostenibles y económicos, es una propuesta novedosa en el campo de la estabilización del adobe. Este enfoque proporciona una alternativa eficaz y ecológica para mejorar la seguridad y

durabilidad de las viviendas rurales en zonas vulnerables a la humedad y lluvias intensas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTALES

A. Materias primas

1) Suelo

La muestra de suelo fue extraída manualmente a una profundidad de 0.5 m en la zona de estudio de Chacabamba (9° 54' 1" S, 76° 36' 40" O), ubicada en la provincia de Yarowilca, departamento de Huánuco, Perú.

La caracterización del suelo se realizó conforme a la norma ASTM D422. Para el análisis del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, se utilizó la norma ASTM D4318. Adicionalmente, el contenido de humedad se determinó siguiendo la norma ASTM D2216. La clasificación del suelo se realizó siguiendo la norma ASTM D2487, mientras que su descripción visual se llevó a cabo de acuerdo con la norma ASTM D2488.

Según la curva granulométrica (Fig. 3), el 60.5% del suelo pasa por el tamiz número 200, lo cual indica una proporción significativa de partículas finas. La muestra se clasifica como suelo tipo CL (arcilla de baja plasticidad) según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Visualmente, el suelo presenta un color pardo tanto en estado húmedo como seco.

2) Fibras de Maguey

La planta de maguey abunda en los Andes del Perú. Se caracteriza por sus largas hojas verdes y espinosas, carnosas y fibrosas, que contienen hilos internos de alta resistencia. Utilizados en el pasado para fabricar diversos productos. En la Fig. 1 se muestran las fibras fueron extraídas manualmente [8] y tienen una longitud aproximada de 6 cm [9].



Fig. 1 Fibras de Maguey

3) Gel de penca de tuna

Las pencas de tuna generalmente están en zonas áridas y semiáridas, lo que se convierte en un recurso fácil de poder adquirir los recursos en la zona de estudio. Esta planta absorbe y retiene agua rápidamente cuando existe humedad, lo que es especialmente útil en ambientes secos o con lluvias esporádicas [10]. En la Fig. 2 se observa la maceración de pencas de tuna. La extracción del gel se realiza de manera manual, se limpia la parte superficial de la penca de tuna y se procede a cortar en tiras aproximadamente cada 4 cm, finalizado esto se remoja en baldes durante 18 días [11].



Fig. 2 Gel de penca de Tuna

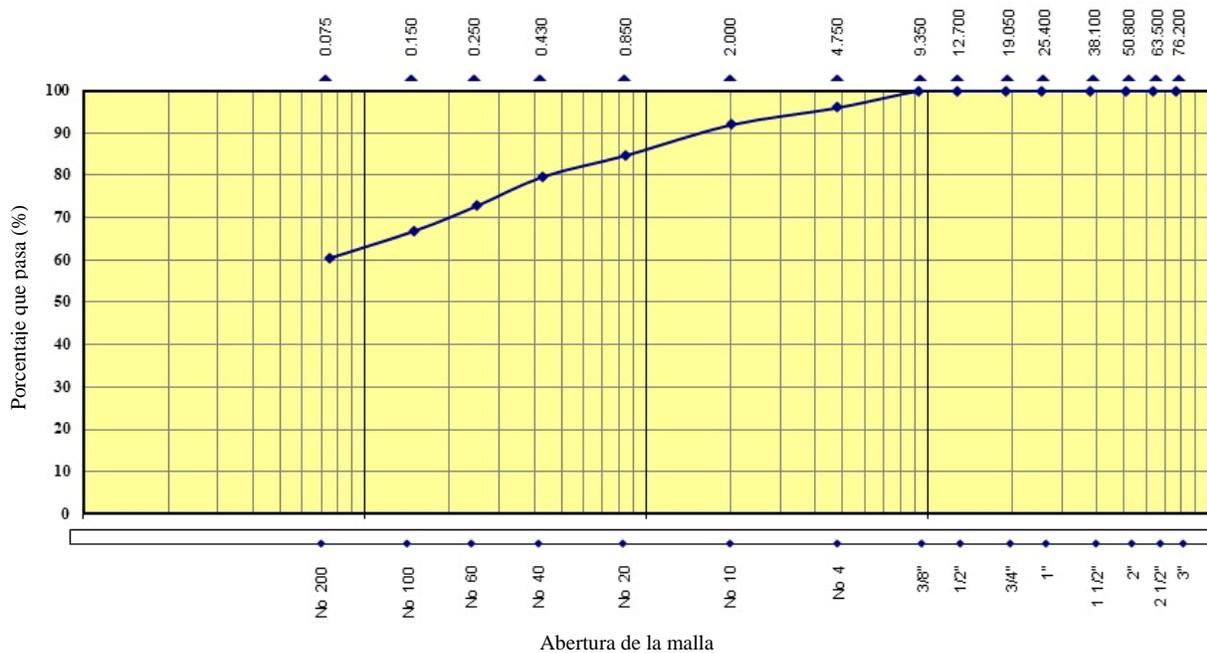


Fig. 3 Curva Granulométrica

4) Fibras de paja

La paja se ha venido utilizando como fibras a lo largo de la historia en construcciones de tierra. El material abunda en las zonas altoandinas del Perú, por ende, es muy accesible de conseguir y casi no es necesario de realizar transporte del material. La Fig. 4 documenta visualmente el estado físico de la paja en el campo. Estas se recolectan, para que ser extraídas y trituradas de dimensiones de 5-25mm de longitud. [12].



Fig. 4 Paja o Ichu en campo

B. Proceso de elaboración de adobe

Para la fabricación de los adobes se decidió seguir el procedimiento establecido en el Manual de construcción: Edificaciones de adobe utilizando solo tierra, agua y paja. A esto se le adicionará fibras de maguey y los gels de penca de las tunas. Ver los pasos en la Fig. 5.

1) Mezcla de adobe

El suelo de estudio es apto para la elaboración de adobes. Por lo tanto, después del tamizado del suelo se procede verter la goma de penca de tuna de 0%, 5%, 10% y 15% (paso 1 de Fig. 5), posteriormente se añade las fibras de maguey de 2.5%, y mientras que las fibras de paja se añaden de 1% para los 4 diseños (paso 2 de Fig. 5), con sus respectivos porcentajes de contenido de agua en peso de arcilla seca, las muestras de proporciones de las muestras de diseño se muestran en la Tabla 1. Para realizar una mezcla bien homogénea, se tiene que

amasar manualmente de la manera tradicional durante 30 min (paso 3 de Fig. 5), la mezcla que se obtuvo se dejó durante las primeras 24 horas de manera natural, al aire libre.

TABLA 1
PROPORCIONES PARA LAS MUESTRAS DE DISEÑO

ID	Arcilla Kg	Contenido %			Agua Lt
		Fibra de maguey	Gel de penca de tuna	Fibra de paja	
Muestra 1	150	2.5	0.0	0.2	30
Muestra 2	150	2.5	5.0	0.2	25
Muestra 3	150	2.5	10.0	0.2	20
Muestra 4	150	2.5	15.0	0.2	15

2) Encofrado y desencofrado con molde

Una vez que esté lista la mezcla, se utilizan los moldes de madera de dimensiones de Ancho: 20 cm, Largo: 40 cm, Alto: 10 cm y de Ancho: 10 cm, Largo: 10 cm, Alto: 10 cm para realizar las muestras de los bloques de adobe y cubos de adobe, respectivamente (paso 4 de Fig. 5). Al finalizar se retira el molde alrededor de los bloques y cubos, manteniendo la integridad de las muestras (paso 5 de Fig. 5).

3) Cuidado durante el secado de los adobes

Es recomendable que los adobes no estén expuestas directamente al sol los primeros tres días por que se podría a llegar agrietar. A partir del tercer día de haberse elaborado los adobes, se colocan de canto como mínimo los 10 días posteriores para que se tenga un secado de manera uniforme. Finalmente, cuando los adobes estén secos se procede a trasladar y almacenar de manera apilada. Ya que los adobes estaban expuestos en la intemperie se tuvo que cubrir con plástico (paso 6 de Fig. 5).

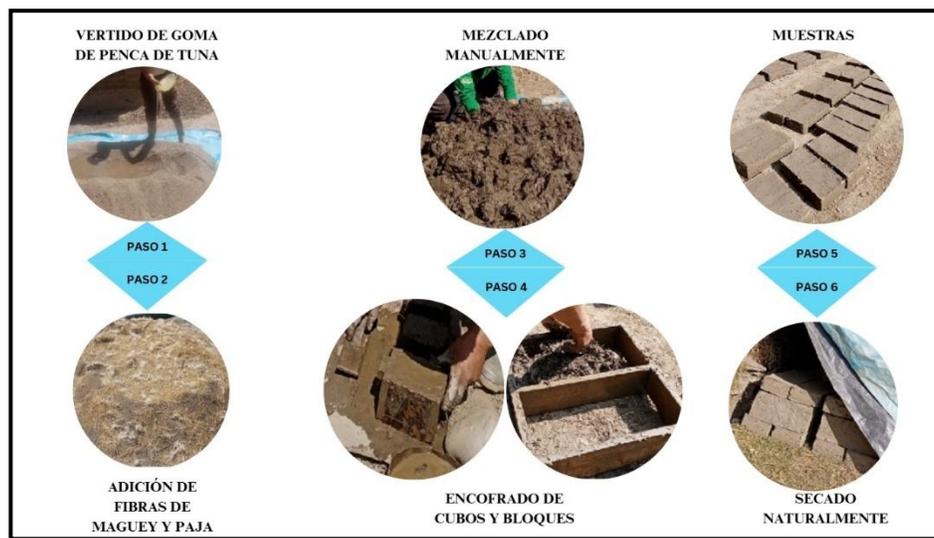


Fig. 5 Etapas de elaboración de las muestras

C. Ensayos mecánicos

1) Compresión de resistencia de cubos

Las pruebas de resistencia a la compresión en cubos de adobe se realizaron utilizando una prensa hidráulica Humboldt, como se muestra en la Fig. 6. Para que el ensayo sea más exacto se realizaron tres pruebas experimentales para cada diseño, y el resultado representativo se calculó con la media de los tres valores y sus desviaciones estándar. Antes del ensayo, las muestras se secaron en un horno.



Fig. 6 Ensayo de compresión de cubo de adobe

2) Compresión de resistencia pilas de adobe

Para analizar la compresión de resistencia de las pilas de adobe se realizó nuevamente con la prensa hidráulica Humboldt, como se observa en la Fig. 7. Se analizaron tres pruebas para cada diseño y ser más exactos, los resultados se denotan con la media de los tres. Asimismo, se calculó la desviación estándar.



Fig. 7 Ensayo de compresión de pila de adobe

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resultado de los ensayos del suelo, los resúmenes de los ensayos de compresión en cubos y pilas de adobe se presenta a continuación.

En la Tabla 2, observamos los resultados de la cantera de Chacabamba donde en su clasificación SUCS se presentan como “CL” Arcillas Arenosas de baja plasticidad el cual se considera apropiado para la elaboración de adobe.

TABLA 2
RESULTADOS DE LA CANTERA DE CHACABAMBA

Nro	Nombre de Ensayo	Resultados	Unid	Anotación de la cantera
1	Contenido de Humedad	4.6	%	El contenido de humedad promedio del suelo en la cantera de Chacabamba.
2	Granulometría	60.55	%	% pasa el tamiz #200
3	Límites de Consistencia			
3.1	Límite Líquido (LL)	30	%	Contenido de Humedad a los 25 golpes
3.2	Límite Plástico (LP)	16	%	Promedio de contenido de humedad del Límite Plástico
3.3	Índice de Plasticidad (LL-LP)	14	%	Contenido de Humedad
4	Clasificación SUCS	CL		Arcilla arenosa de baja plasticidad.
5	Clasificación AASHTO	A-2-4 (0)		

La Tabla 3 y la figura 8, nos muestran el resumen y el gráfico de los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de cubos.

TABLA 3
RESUMEN DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CUBOS

Nro. Especimen	Adobe Patrón		2.5%FM + 5%GT		2.5%FM + 10%GT		2.5%FM + 15%GT	
	kgf	kg/cm ²	kgf	kg/cm ²	kgf	kg/cm ²	kgf	kg/cm ²
1	947.60	10.50	1087.50	12.05	1347.40	14.18	1349.60	14.21
2	979.80	10.86	1140.50	12.64	1352.50	14.24	1471.30	15.49
3	905.80	10.04	1118.50	12.39	1211.30	12.75	1487.80	15.66
Promedio	944.40	10.46	1115.50	12.36	1303.73	13.72	1436.23	15.12
Desv. Estándar	37.10	0.41	26.63	0.30	80.09	0.84	75.48	0.79

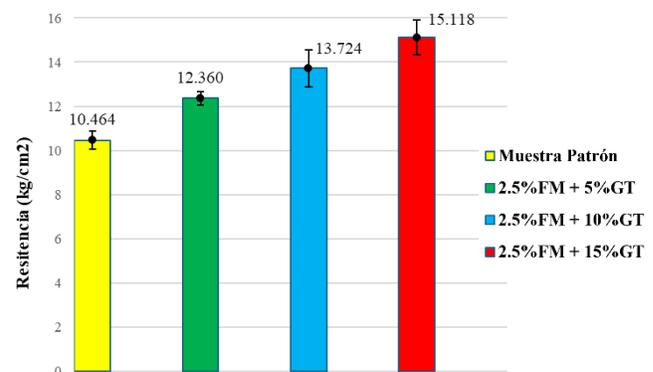


Fig. 8 Resultados de resistencia de compresión de cubos de adobe

La Tabla 4 y la figura 9, nos muestran el resumen y el grafico de los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de cubos.

TABLA 4
RESUMEN DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PILAS

Nro.	Adobe Patrón		2.5%FM + 5%GT		2.5%FM + 10%GT		2.5%FM + 15%GT	
	kgf	kg/cm ²	kgf	kg/cm ²	kgf	kg/cm ²	kgf	kg/cm ²
1	4078.0	6.50	4988.5	7.96	5913.3	9.43	6527.0	10.14
2	4399.0	7.02	5282.9	8.43	6118.8	9.76	6622.3	10.29
3	3914.0	6.24	5359.2	8.55	5842.0	9.32	6336.9	9.85
Promedio	4130.3	6.59	5210.2	8.31	5958.0	9.50	6495.4	10.09
Desv. Estándar	246.7	0.39	195.7	0.31	143.7	0.23	145.3	0.23

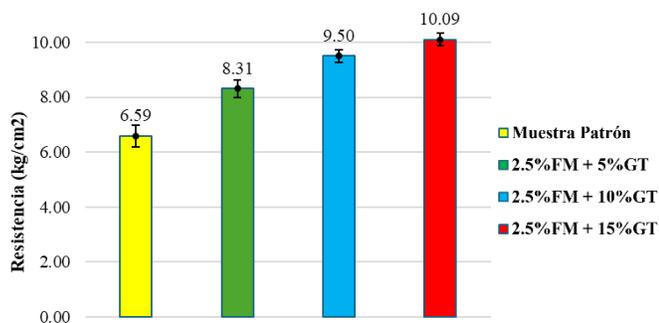


Fig. 9 Resultados de resistencia de compresión de pilas de adobe

En la tabla 5, se muestra el resumen general de los ensayos mecánicos. Del cual se deduce, que el diseño de adobe con 2.5% de fibra de maguey y 15 % de gel de penca de tuna ofrece una mayor resistencia a la compresión en cubos de adobe.

Asimismo, el diseño de 2.5% fibra de maguey y 15% gel de penca de tuna, genera mayor resistencia a la compresión en pilas de adobe.

TABLA 5
RESUMEN GENERAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ADOBE

Ensayo	N	Patrón	2.5%FM + 5%GT	2.5%FM + 10%GT	2.5%FM + 15%GT
Compresión en unidades	12	10.46 kg/cm ²	12.36 kg/cm ²	13.72 kg/cm ²	15.12 kg/cm ²
Compresión en pilas	12	6.59 kg/cm ²	8.31 kg/cm ²	9.50 kg/cm ²	10.09 kg/cm ²

En la Tabla 6 y la Tabla 7, se presentan los resultados de la validación experimental de las resistencias obtenidas en los ensayos de compresión. Estos datos permiten comparar la consistencia de las mediciones realizadas en unidades individuales y pilas, y verificar si los valores alcanzados cumplen con los rangos esperados [13].

TABLA 6
VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE COMPRESIÓN EN CUBOS DE ADOBE

Ensayo de compresión en unidades	Norma E-080	Validación
10.46 kg/cm ²	10.2 kg/cm ²	CUMPLE
12.36 kg/cm ²	10.2 kg/cm ²	CUMPLE
13.72 kg/cm ²	10.2 kg/cm ²	CUMPLE
15.12 kg/cm ²	11.2 kg/cm ²	CUMPLE

TABLA 7
VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE COMPRESIÓN EN PILAS DE ADOBE

Ensayo de compresión en pilas	Norma E-080	Validación
6.59 kg/cm ²	6.0 kg/cm ²	CUMPLE
8.31 kg/cm ²	6.0 kg/cm ²	CUMPLE
9.50 kg/cm ²	6.0 kg/cm ²	CUMPLE
10.09 kg/cm ²	6.0 kg/cm ²	CUMPLE

IV. CONCLUSIONES

Al evaluar la resistencia a la compresión de cubos mediante pruebas mecánicas, el estudio demuestra que el adobe reforzado con un 2.5 % de fibra de maguey y un 15 % de gel de penca de tuna alcanza una resistencia de 15.66 kg/cm². Esto indica que presenta una mayor resistencia a la compresión en comparación con el adobe estándar y otros diseños de adobe con 2.5 % de fibra de maguey y gel de penca de tuna en concentraciones de 5 % y 10 %, los cuales registran resistencias de 10.86 kg/cm², 12.64 kg/cm² y 14.24 kg/cm², respectivamente.

Asimismo, el adobe con 2.5 % de fibra de maguey y 15 % de gel de penca de tuna mostró un mejor comportamiento en la prueba de compresión de pilas, con una resistencia de 10.29 kg/cm², frente al adobe estándar con 9.76 kg/cm², y los diseños con 2.5 % de fibra de maguey y gel de penca de tuna al 5 % y 10 %, que obtuvieron resistencias de 8.55 kg/cm² y 7.02 kg/cm², respectivamente.

Para poder tener más resistencia a la compresión se debe de llevar bien los procesos para la elaboración de adobes con todos los diseños que se pueda proponer. Sin embargo, en este proyecto todos los adobes tanto el adobe patrón y más la fibra de maguey al 2.5% junto con a la penca de tuna en niveles de 5%, 10% y 15%, se supera la resistencia a la compresión de 10.2 kg/cm² que esta normada en la E.080

AGRADECIMIENTO

A la Dirección de Investigación de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas por el apoyo brindado para realización de este trabajo de investigación a través del incentivo UPC-EXPOST-2025-1.

REFERENCIAS

- [1] A. T. & Y. K. <<The state of earthen housing worldwide: how development affects attitudes and adoption >> Taylor & Francis, 2021
- [2] INEI, «Censos Nacionales 2017: XII de vivienda y III de comunidades indígenas.» Lima - Perú, 2018.
- [3] A. e. a. Alioui, «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.» *In Building and Environment*, vol. 255, n° 111380, p. 18, 2024.
- [4] L. e. a. Vasquez, «ANALYSIS OF THE MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF ADOBE COMPACTED WITH ICHU AND PINE FIBERS,» *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering*, n° 191862, p. 8, 2023.
- [5] A. M. & D. S., «Resistencia a la compresión e impermeabilidad del adobe tradicional con adición de gel de tuna y paja de trigo.» Repositorio Institucional UPN, Lima, 2021.
- [6] A. Quijano, «Mejoramiento de las propiedades del adobe, adicionando mucilago de algarrobo, para aumentar su resistencia frente a lluvias e inundaciones.» Repositorio de Tesis de USAT, Chiclayo, 2023.
- [7] C. e. a. Arteaga, «Analysis of the Physical and Mechanical Properties of Adobe with the Addition of Sugarcane Bagasse,» *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, Lima, 2023.
- [8] C. H. Gonzáles Viscaya, «Caracterización y Diagnóstico de Calidad Mochila Kankuama Departamento del Cesar.» Bogotá, 2007.
- [9] R. M. Giraldo Villar , «Evaluación de las propiedades fisico-mecánicas del mortero de cal adicionando mucilago de nopal (Opuntia ficus-indica), Ayacucho- 2022.» Repositorio Institucional UCV, Huaraz-Perú, 2022.
- [10] Gerencia Regional Agraria La Libertad, «Cultivo de Tuna.» Trujillo-Perú, 2009.
- [11] A. Mateo Bustamante, «Fibras de maguey en las propiedades del adobe en el centro poblado Colpa Alta, distrito de Amarilis, Huánuco 2020.» Lima, 2020.
- [12] A. Abdelmounaim, «Efecto de la adición de fibras de paja sobre las propiedades higrotérmicas y mecánicas de los ladrillos de adobe libres de carbono: Desde el material hasta la escala de construcción en un clima semiárido.» *Construcción y Medio Ambiente*, vol. 255, n° 111380, p. 18, 2024.
- [13] MVCS, «NORMA E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada.» Lima, 2017.