

Reinforced earth elements with the addition of *Opuntia ficus-indica* and *Physalis peruviana*

Renzo Eduardo López-Guerrero, Osmar Francisco Bustamante-Valencia, Boris Enrique Oblitas-Gastelo & Fiorela Anaí Fernández-Otoya

Facultad de Ingeniería Industrial y Mecánica, Universidad Tecnológica del Perú, Chiclayo, Perú. U19314852@utp.edu.pe, U19314715@utp.edu.pe, C18740@utp.edu.pe, C21106@utp.edu.pe

Received: August 3rd, 2024. Received in revised form: December 2nd, 2024. Accepted: February 10th, 2025.

Abstract

This research incorporated the husk of aguaymanto (*Physalis peruviana*) in proportions of 0.2%, 0.4%, and 0.6%, and the mucilage of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) at 6%, 8%, and 10% as stabilizers. The soil used was obtained from the San José district in Lambayeque, Peru, following the selection process established by standard E.080. The most notable results were observed when incorporating 0.2% husk and 10% prickly pear. Compressive strength in the adobe bricks was 16.82 kg/cm², representing an 8.4% improvement compared to the control sample. Additionally, in the adobe stacks, resistance increased by 35.8%. The tensile test also showed a 22.4% improvement, with a strength of 1.04 kg/cm². Regarding absorption testing, a value of 13.16% was obtained, improving by 14.6%, and the suction test recorded 12.09%, representing a 30.3% improvement over the standard.

Keywords: adobe; shell, resistance; *Opuntia ficus-indica*; *Physalis peruviana*.

Elementos de tierra reforzada con adición de *Opuntia ficus-indica* y *Physalis peruviana*

Resumen

Esta investigación incorporó cascarilla de aguaymanto (*Physalis peruviana*) en proporciones de 0.2%, 0.4% y 0.6%, y mucílago de tuna al 6%, 8% y 10% (*Opuntia ficus-indica*) como estabilizadores. La tierra usada se obtuvo del distrito de San José, Lambayeque, Perú, siguiendo la norma E.080. Los mejores resultados se lograron con 0.2% de cascarilla y 10% de mucílago. La compresión en adobes fue de 16.82 kg/cm², mejorando un 8.4% respecto al patrón. La resistencia en pilas de adobes aumentó un 35.8%. El ensayo de tracción mostró una mejora del 22.4% con una resistencia de 1.04 kg/cm². En el ensayo de absorción, se obtuvo un 13.16%, mejorando un 14.6%, y el ensayo de succión registró 12.09%, una mejora del 30.3% comparado con el patrón.

Palabras clave: adobe; cascara; resistencia; *Opuntia ficus-indica*; *Physalis peruviana*.

1. Introducción

El adobe es una variedad de ladrillo sin cocer que se produce utilizando una combinación de suelo, que se compone en su mayoría de arcilla y arena, y se amalgama con fibras naturales [1].

El empleo de la tierra en las prácticas de edificación es un método que se remonta a los años 10.000 a 8000 a.C. A lo largo de los años, se han modificado diversas técnicas de construcción con tierra, añadiendo estabilizadores como la

cal y el cemento y otros materiales como paja, para incrementar la resistencia y la estabilidad al agua [2].

Es un elemento crucial en la construcción sostenible debido a su producción de bajo costo y su amplia disponibilidad. Fomenta un ahorro energético significativo, aprovechando principalmente las energías renovables. Ofrece una gran manejabilidad, propiedades mecánicas perfectas para la construcción y se integra sin problemas en el ecosistema al culminar su vida útil [3].

El uso de este material se ha extendido en toda América

del sur [4], principalmente porque se considera una opción viable para abordar la escasez de viviendas. Pero Las construcciones de adobe son susceptibles a diversos tipos de fuerzas debido a su resistencia limitada y fragilidad, especialmente en situaciones sísmicas.

El Perú está ubicado en una zona con una gran cantidad de actividad sísmica, lo que representa un riesgo constante para las personas que viven en viviendas de adobe. Estas construcciones de tierra son frágiles y pueden sufrir daños significativos durante terremotos de gran magnitud.

Para mejorar la seguridad de las viviendas de adobe, se han investigado diferentes métodos de refuerzo. Uno de ellos es el uso de malla de cuerdas, que ha demostrado ser efectiva en ensayos de simulación sísmica. Se ha creado un diseño de vivienda de dos pisos a escala utilizando adobe, pero frente a fuerzas de la naturaleza siguen siendo muy vulnerables [5].

En los últimos, se ha observado un aumento en el desarrollo de adobes; sin embargo, existe una carencia de investigaciones sobre su comportamiento, por lo cual el objetivo de este artículo es poder explorar materiales alternativos que puedan mejorar las unidades de adobe

Es esencial enfatizar que investigaciones de esta índole han sido llevadas a cabo previamente por investigadores tanto en el ámbito nacional como global.

Incorporan fibras de paja toquilla e Ichu para evaluar propiedades como la capacidad de humedad del elemento, límite líquido, granulometría, compactación de Proctor modificado y clasificación de suelos [6]. Al agregar Paja Toquilla en una proporción de 6%, la tensión incrementó a 29.14 kg/cm², mientras que con una proporción de Paja Ichu al 4%, alcanzó los 28.11 kg/cm² comparación con el estándar de adobe de 20.18 kg/cm². Los resultados demuestran que los adobes elaborados con paja toquilla en su composición supera en resistencia a los que contienen paja Ichu. Además, aquellos adobes que incorporan ambas fibras vegetales (paja toquilla e Ichu) superan el umbral mínimo de resistencia establecido en el RNE.

Asimismo, [7] realizaron a cabo investigaciones utilizando fibras de coco (*Cocos nucifera*) para evaluar el desempeño del adobe, empleando parámetros y ensayos de laboratorio similares. Se prepararon muestras con diversas concentraciones de fibras de coco (0.25%, 0.50%, y 0.75%).

Los resultados fueron favorables debido a que la inclusión de fibras de coco condujo a mejoras a la resistencia de los adobes. La capacidad de resistir la fuerza compresiva experimentó un incremento del 24,40%, alcanzando un valor de 36,83 kg/cm² en contraste con los 28,21kg/cm² de la muestra estándar. De manera similar, la flexión incremento en 13,68%, alcanzando 8,48 kg/cm² en comparación a los 7,32 kg/cm² de la muestra de referencia.

En Piura, realizaron el estudio del extracto de la planta Cabuya (*Furcraea andina*) y como puede actuar como un agente estabilizador para proteger el adobe convencional de los efectos del agua [8]. Para evaluar la resistencia al agua, se realizaron dos pruebas no estándar: una de rociado y otra de inmersión. Los resultados indican que el extracto de cabuya mejora significativamente la resistencia a la flexión, casi duplicando los valores iniciales, con un aumento aproximado del 200% desde una base de 2.06 kg/cm². Respecto a la capacidad de compresión, registraron una media de 27.32

kg/cm² en los adobes estabilizados, mientras que los adobes sin estabilizar tuvieron un valor de 24.92 kg/cm².

En Perú, investigaron “Bloques Sostenibles Reforzados con *Agave americana* L. Fibra y sus propiedades mecánicas”, Las resistencias se determinan a través de tres métodos: compresión simple, tracción mediante la prueba de compresión diametral brasileña y el cálculo del módulo de ruptura [9]. La dosis más efectiva para resistir la fuerza compresiva resultó ser el 0.25% de fibra de agave, lo que se tradujo en un incremento del 13.39% (equivalente a 2.54MPa). Al emplear agave en fibras en proporciones del 1%, el aguante a la tracción aumentó en un 39,13% (0,32MPa). Finalmente, la incorporación del 0.5% de fibra de *Agave Americana* condujo a un incremento del 14.29% (1.44MPa) en la resistencia a la flexión. En resumen, se concluyó que el uso de fibra de *Agave Americana* mejoró de manera notable la resistencia mecánica de los bloques.

Incorporo cáscara de arroz (*Oryza sativa*) y paja de lavanda (*Lavándula*) para mejorar durabilidad del adobe. La mezcla constó de aproximadamente un 60% de piedra caliza y un 20% de arcilla [10]. Se llevaron a cabo pruebas de erosión por humedad, abrasión y resistencia al impacto en probetas de 15x15x15 cm³. Los resultados revelaron que la adición de paja de lavanda generó un notable aumento en la abrasión, mientras que la inclusión de cáscara de arroz produjo una significativa reducción en la misma. Los ensayos concluyeron que al adicionar la paja de lavanda mejoró la durabilidad del adobe. De manera específica, evidenció una mejora para resistir el efecto de la erosión causada por la humedad debido a la inclusión de paja de lavanda

El uso del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en fibras para atribuir mejoras a compresión, flexión, durabilidad y la variación de volumen del adobe [11]. Se incorporaron 3 cm de fibra de jacinto a lo largo de la mezcla de adobe, además, se incorporaron partículas de arena con dimensiones que oscilan entre 2.0 y 0.05 mm, en una proporción del 2.7%, así como limo de partículas menores a 0.002 mm en un 37.8%. Posteriormente, se sometió esta mezcla a ensayos en probetas de 10x10x10 cm³. Los resultados obtenidos revelaron una disminución en resistir la resistencia axial por causa del incremento de humedad en el adobe. Además, se observó una reducción en la contracción del adobe del orden del 31% al 34%, y una disminución en su densidad de aproximadamente un 20%.

Decidieron introducir fibras de yute (*Corchorus olitorius/ Corchorus capsularis*) en el adobe utilizando diversas concentraciones (0.5% y 2%) y medidas de extensión fluctuantes (7mm, 15mm y 30mm), [12]. Previamente, llevaron a cabo un análisis granulométrico utilizando el método del hidrómetro, siguiendo la norma ASTM D7928-17 (Determinación del tamaño de partículas en suelos de grano fino mediante sedimentación). Además, emplearon fibras de yute con un diámetro de 3 mm en el estudio. Los resultados evidenciaron que la inclusión de una concentración del 2.0% en peso de fibras de yute resultó en un aumento notable en la absorción de agua capilar en los materiales de adobe, lo que impactó negativamente en su durabilidad. Asimismo, se observó una significativa reducción del 93% y 62% en la densidad de grietas, investigaron la inclusión de *Saccharum officinarum* (azúcar) empleando el residuo de bagazo, para la elaboración de

ladrillos ecológicos, reemplazando parcialmente el 0.5%, 1.5% y 2.5% del lodo utilizado, [13]. El proceso comenzó sumergiendo el bagazo de *Saccharum officinarum* en agua caliente a unos 90 °C, y se llevaron a cabo mediciones periódicas del peso del bagazo de caña de azúcar seco. Estos materiales secos mostraron ser fibras frágiles y ligeros, con un peso de 0.09 kg/m³ y un diámetro de fibra que variaba entre 0.3 y 1.2 mm. Posteriormente, las fibras secas se cortaron a una longitud de 80 mm. Los resultados revelaron que la *Saccharum officinarum* en proporciones razonables podría resultar en una reducción del peso del ladrillo de hasta un 7%, lo que a su vez afectaría el peso de la estructura y la cimentación. Además, se encontró que la absorción de los ladrillos de arcilla utilizados en condiciones climáticas normales no debía superar el 25%. En consecuencia, se observó que las muestras con un 1.5% y 2.5% de *Saccharum officinarum* no cumplen.

El reforzamiento de las muestras de adobe con plumas recicladas del pollo (CFF) en el refuerzo de mezclas de adobe, [12]. Descubrieron que la inclusión de CFF en las mezclas mejoraba notablemente su resistencia al daño y su durabilidad, mientras que sus propiedades físicas y mecánicas se mantuvieron prácticamente inalteradas. Entre los hallazgos más destacados se encuentran una notable disminución en la densidad de las grietas y en la erosión por agua, con reducciones de hasta un 99% y un 44%, respectivamente. Además, se determinó que hubo un aumento al resistir la flexión de hasta un 134%. Esto demuestra el potencial de las fibras de plumas de pollo contribuyen en la durabilidad y la capacidad de resistencia de las mezclas de adobe.

Los siguientes investigadores se centraron en el estudio de materiales autóctonos, poniendo especial atención en los ladrillos de adobe, como una alternativa prometedora para la construcción de estructuras en [14]. Sugerían la estabilización de los ladrillos de adobe con cal para incrementar su resistencia a la retracción. Se experimentó con distintas proporciones de cal (0%, 4%, 7% y 10% del peso total del suelo) para determinar su impacto en las características mecánicas y térmicas del adobe. Los descubrimientos más destacados del estudio incluyeron: Se observó una disminución en la conductividad térmica conforme se aumentaba la proporción de cal, se logró la capacidad de soportar cargas más altas (1,1 MPa) cuando se añadió 7% de cal en la mezcla de adobe.

2. Materiales y métodos

2.1 Materiales

2.1.1 *Opuntia ficus-indica*

La hoja de tuna o también conocida como nopal en otros países, florece en áreas con ambientes áridos y semiáridos. Este compuesto se ha empleado tradicionalmente para mejorar la firmeza del concreto, actuar como un impermeabilizante y componente en pinturas. Este versátil compuesto también desempeña un papel significativo en la industria alimentaria y en la creación de productos farmacéuticos [15].

2.1.2 *Physalis peruviana*

La *Physalis peruviana* Linnaeus, una planta de la familia Solanaceae y endémica de la región andina de Sudamérica son reconocidos por sus efectos beneficiosos contra tumores, diabetes e inflamación. Además, destacan por su riqueza en antioxidantes y compuestos fenólicos [16].

El fruto se caracteriza por tener una cubierta que recuerda al cáliz de la planta, sugiriendo la forma de un pequeño jarro o una campana incompleta, con un tamaño que oscila entre 14 y 20 milímetros. Esta cubierta se vuelve más fina durante el proceso de maduración del fruto, adquiriendo una gama cromática que va del amarillo al naranja claro. Además, el cáliz es notable por sus diez venas principales de tonalidad morada y la multitud de venas secundarias en un verde oscuro [17].

2.2 Metodología

Este estudio ha implementado un enfoque cuantitativo, basado en un diseño experimental. El análisis cuantitativo será llevado a cabo mediante una metodología precisa, utilizando diversos instrumentos de investigación, tales como fichas de observación, videocámaras y hojas de cálculo.

2.1.3 Procedimiento

Selección del suelo

Para la elección adecuada del suelo en la producción de adobes, es indispensable realizar dos pruebas según lo establecido en la normativa peruana (E. 080). La primera condición para la selección indica que se forma una cinta de aproximadamente 20 a 25 cm y se evalúa durante 10 minutos debiendo estar suspendida. La segunda es la prueba de bolitas, que consiste en formar cuatro pequeñas esferas de suelo que deben mantener su forma y resistir la presión de los dedos después de 48 horas [18].

Clasificación del suelo

Para la determinar el tipo del suelo se consideró los sistemas de clasificación SUCS y AASHTO

Además, se utilizaron las siguientes normativas como referencia para la creación y evaluación de los adobes.

Fabricación de unidades de adobe

La fabricación del adobe se realizó conforme a lo indicado a la norma E.080 para unidades rectangulares cuyas medidas son de 30 x 15 x 10 debiéndose cumplir que para el ancho debe ser la mitad del largo y la altura estará entre 8 a 12 cm.

La adición de cascarilla de *Opuntia ficus-indica* al adobe se realizará en proporciones de 0.2%, 0.4% y 0.6% con respecto al peso total del adobe. Por otro lado, para obtener el mucílago de nopal o tuna, se cortó la hoja de tuna en pequeños trozos y dejarla reposar en agua durante 7 a 14 días. Luego, se debe agregar al adobe en porciones de 6%, 8% y 10%.

El período de secado del adobe sin aditivos y el adobe con

cascarilla incorporada es de aproximadamente 7 días. Sin embargo, para los adobes que contienen mucílago de tuna, el tiempo de secado puede extenderse hasta 14 días, considerando una temperatura de 20 grados centígrados.

Los ensayos de resistencia del adobe se llevaron a cabo siguiendo las directrices establecidas por la normativa peruana, y se realizaron después de 28 días de su elaboración.

Resistencia a compresión

Basándonos en la (E.080) [18] normativa peruana la cual indica que para determinar la capacidad de resistir la compresión en muretes y cubitos de 10x10x10 los días de secado deben ser de 28 días. En este experimento se utilizaron un total de 48 muretes de adobe. Además, se realizaron 30 adobes para cada una de las muestras (patrón, *Physalis peruviana* y *Opuntia ficus-indica*) en diferentes porcentajes de adición.

Este ensayo evidencia cómo las unidades de albañilería responden bajo carga axial y el esfuerzo resistente en compresión se determina a por el área de la sección transversal [19].

Absorción y Succión

De acuerdo con la normativa peruana (NTP-399.613), para absorción es necesario sumergir los adobes en agua durante un periodo de 24 horas. Se debe registrar tanto el peso seco del adobe antes de la inmersión como su peso después de haber sido sumergido. En el experimento se utilizaron un total de 48 adobes, con 6 adobe para el patrón y adobes con la inclusión de *Physalis peruviana* y *Opuntia ficus-indica* en sus distintas adiciones. Por otro lado, la (NTP-399.613) también indica que para los ensayos de succión debe permanecer en agua no más de 3 horas [20].

Tracción

Conforme establece la Normativa (E.080) para evaluar la capacidad de tracción, las muestras deben ser en probetas equivalente a 6 pulgadas x 12 pulgadas habiendo pasado 28 días, en este ensayo la cantidad de probetas fue de 48 unidades, con 6 adobe para el patrón y adobes con la inclusión de *Physalis peruviana* y *Opuntia ficus-indica* en sus distintas adiciones [18].

3. Resultados y discusión

3.1 Contenido de humedad

La humedad del suelo analizado para la fabricación de unidades de adobe se ha determinado en un 3.45%, conforme a la metodología descrita en la NTP 339.127 [21].

Tabla 1. Contenido de humedad de la muestra de tierra

Descripción	UND	01	02	03
C. de humedad	%	21.53	22.79	25.18

Fuente: Elaboración propia.

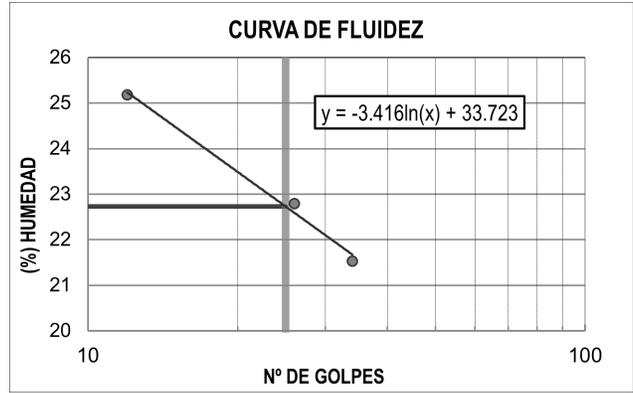


Figura 1. Curva de Fluidéz – Análisis del suelo
Fuente: Elaboración propia.

$$\frac{M_w}{M_s} \cdot x. 100 \tag{1}$$

dónde:

M_w: peso del agua, en gramos

M_s : peso de las partículas sólidas, en gramos

3.2 Límite líquido (L.L)

Según la Figura 1 el límite líquido determinado correspondió a un 23%.

En la Tabla 1 se visualiza que el mayor contenido de humedad de la muestra alcanzó el 25.18%.

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \tag{2}$$

dónde:

N = Número de golpes

wⁿ = Humedad del suelo

3.3 Límite Plástico (L.P)

El límite plástico determinado se registró en un 15% y el índice de plasticidad en un 8%

La Tabla 2 se observa que el límite de plástico del análisis de laboratorio alcanzó el 19.49. Asimismo, en la Tabla 3 se visualiza el valor del índice de plasticidad del análisis de laboratorio con el valor de 8.

Tabla 2. Límite. Plástico del análisis de laboratorio

Descripción	UND	01	02
C. de humedad	%	19.49	10.16

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Índice de Plasticidad del análisis de laboratorio

Descripción	IP
Índice de plasticidad	8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.

Estudio de distribución de tamaños de partículas

Descripción de la muestra	
Material pasante "Malla N° 200"	86.31%
Material pasante "Malla N° 4"	99.42%
Módulo de fineza	0.33
Coefficiente de uniformidad	0.2
Coefficiente de curvatura	1.4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.

Resistencia promedio a la compresión de adobes

Descripción	Carga promedio (kg)	Prom. (kg/cm ²)
Patrón	1443	15.51
Cascara 0.2%	1515	15.91
Cascara 0.4%	1129	14.79
Cascara 0.6%	1287	13.93
Tuna 6 %	1366	14.80
Tuna 8 %	1421	14.98
Tuna 10 %	1433	15.41
Casca. 0.2% + Tuna 10%	1601	16.82

Fuente: Elaboración propia.

$$IP = LL.LP \quad (3)$$

dónde:

IP: Índice de plasticidad

LL: Límite líquido

LP: Límite plástico

3.4 Granulometría

Mediante la clasificación SUCS [22] estamos en presencia de una muestra (CL) o arcilla de baja plasticidad. Por otro lado, en la clasificación AASHTO [23] estamos en presencia de un suelo A-4 [9].

Asimismo, se observa los resultados que se obtuvieron de los ensayos en las Tablas 4-13 y Figuras 2-6 respectivamente.

3.5.1 Ensayo de compresión

Fue realizado en cubos de 0.1m x 0.1m y se registró los siguientes valores.

$$F'b = \frac{Pu}{\text{área}} \quad (4)$$

dónde:

F'b = Resistencia a la compresión axial (kg/cm²)

Pu = Carga (Kg)

A = Área sometida por la carga cm²

3.6 Resistencia a la compresión pilas

Para los ensayos de compresión en adobes de 30 x 15 x 32 se registraron los resultados Tabla 6.

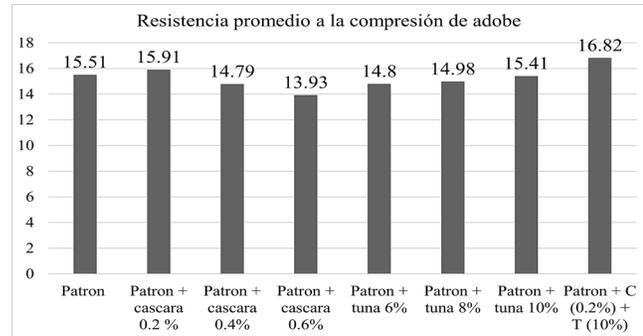


Figura 2. Resistencia promedio a la compresión de adobe

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.

Resistencia promedio de pilas a compresión

Descripción	Prom. (kg/cm ²)
Patrón	5.50
Cascara 0.2%	7.21
Cascara 0.4%	6.04
Cascara 0.6%	6.16
Tuna 6 %	5.55
Tuna 8 %	5.57
Tuna 10 %	5.92
Casca. 0.2% + Tuna 10%	7.47

Fuente: Elaboración propia.

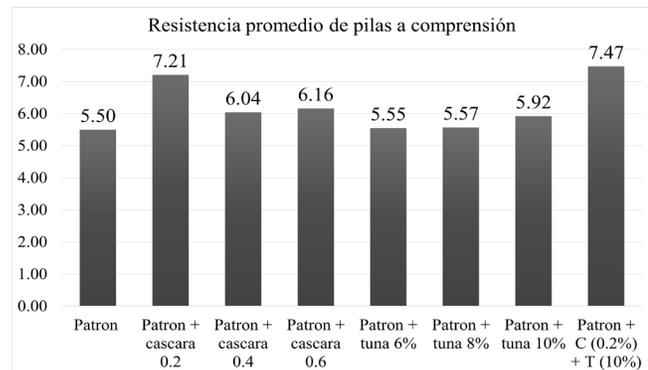


Figura 3. Resistencia promedio de pilas a compresión

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7.

Resistencia promedio de probetas a tracción

Descripción	Carga promedio (kg)	Prom. (kg/cm ²)
Patrón	620	0.85
Cascara 0.2%	640	0.88
Cascara 0.4%	566	0.78
Cascara 0.6%	639	0.88
Tuna 6 %	610	0.84
Tuna 8 %	635	0.87
Tuna 10 %	644	0.88
Casca. 0.2% + Tuna 10%	758	1.04

Fuente: Elaboración propia.

3.7 Ensayo de tracción

Se llevaron a cabo pruebas de tracción en probetas con dimensiones de 15.24 x 30.48 cm (equivalente a 6 pulgadas x 12 pulgadas), y se registraron los resultados de la Tabla 7.

$$T = \frac{2.P}{\pi.D.L} \quad (5)$$

dónde:

P = carga aplicada

D = diámetro de la probeta

L = Longitud de la probeta

3.8 Ensayo de absorción

Fue realizado en adobes 30x15x10 cm, y se registraron los resultados de la Tabla 8.

$$Absorción\% = 100 \frac{w_s - w_d}{w_d} \quad (6)$$

dónde:

W_d = Peso seco

W_s = Peso saturado

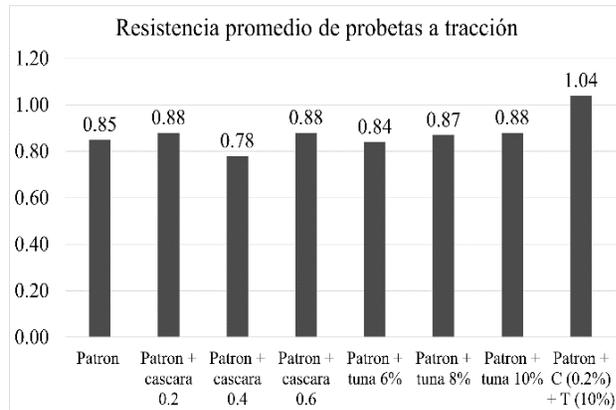


Figura 4. Resistencia promedio de probetas a tracción
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Promedio del ensayo de absorción en adobes

Descripción	Peso Humedo (kg)	Peso Seco (Kg)	Absorción (%)
Patrón	8.123	7.286	11.48
Cascara 0.2%	8.213	7.359	11.60
Cascara 0.4%	8.133	7.374	10.29
Cascara 0.6%	8.228	7.378	11.53
Tuna 6 %	8.163	7.294	11.91
Tuna 8 %	8.156	7.265	12.26
Tuna 10 %	8.2	7.29	12.48
Casca. 0.2% + Tuna 10%	8.183	7.232	13.16

Fuente: Elaboración propia.

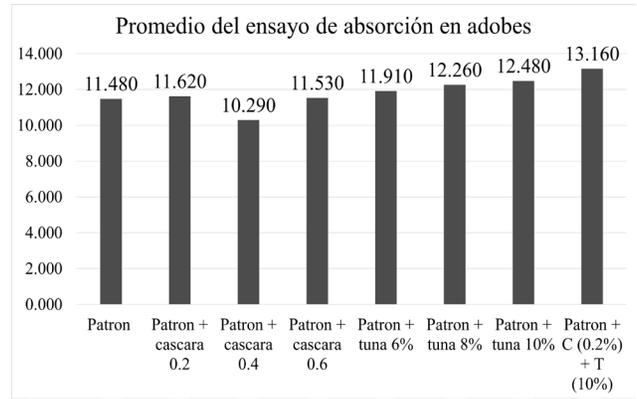


Figura 5. Promedio del ensayo de absorción en adobes
Fuente: Elaboración propia.

3.9 Ensayo de Succión

Fue realizado en adobes 30x15x10 cm, y se registraron los resultados Tabla 9.

$$x = \frac{200.w}{L.B} \quad (7)$$

dónde

X = Diferencia de peso

W= Diferencias de pesos del espécimen (g)

L = Longitud (cm)

B = Ancho (cm)

Tabla 9. Promedio del ensayo de succión en adobes

Descripción	Peso Saturado (gr)	Peso Seco (gr)	Succión (%)
Patrón	7445	7424	9.28
Cascara 0.2%	7386	7364	9.44
Cascara 0.4%	7250	7230	8.84
Cascara 0.6%	7665	7644	9.56
Tuna 6 %	7665	7643	9.97
Tuna 8 %	7666	7641	10.50
Tuna 10 %	7664	7640	11.61
Casca. 0.2% + Tuna 10%	7666	7640	12.09

Fuente: Elaboración propia

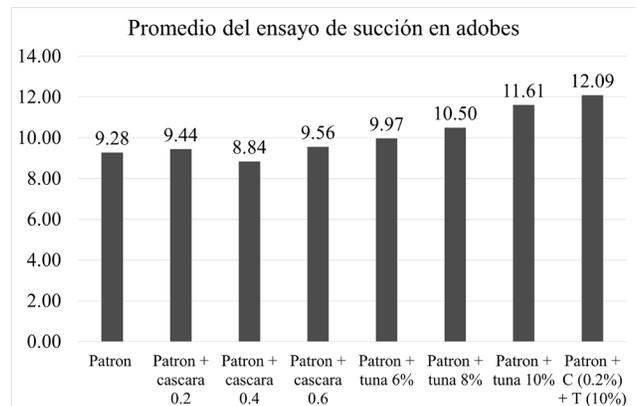


Figura 6. Promedio del ensayo de succión en adobes
Fuente: Elaboración propia.

3.10 Alabeo

Tabla 10.
Promedio del ensayo del alabeo en adobes

Descripción	Cara (A)		Cara (B)	
	Concavo	Convexo	Concavo	Convexo
	mm	mm	mm	mm
Patrón	2.4	1.6	2.0	3.8
Cascara 0.2%	2.0	3.5	1.7	1.7
Cascara 0.4%	1.8	1.0	1.3	7.0
Cascara 0.6%	2.2	3.8	1.5	1.7
Tuna 6 %	1.0	1.0	2.0	1.8
Tuna 8 %	1.0	3.8	4.5	2.2
Tuna 10 %	1.0	3.8	4.5	2.5
Casca. 0.2% + Tuna 10%	1.0	4.0	4.8	2.5

Fuente: Elaboración propia.

3.11 Variación dimensional

Tabla 11.
Determinación de la Longitud promedio de los adobes

Descripción	Longitud (mm)			
	Longitud estándar	s	Longitud promedio	%
	Patrón	300	5.7	294.3
Cascara 0.2%	300	1.7	298.3	0.58
Cascara 0.4%	300	2.3	297.7	0.76
Cascara 0.6%	300	0.3	299.7	0.09
Tuna 6 %	300	5.0	295.0	1.65
Tuna 8 %	300	3.5	296.5	1.17
Tuna 10 %	300	3.7	296.3	1.23
Cas. 0.2% y Tuna 10%	300	3.7	296.3	1.22

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12.
Determinación de la anchura promedio en adobes

Descripción	Ancho (mm)			
	Longitud estándar	s	Longitud promedio	%
	Patrón	150	0.6	149.7
Cascara 0.2%	150	1.2	148.8	0.79
Cascara 0.4%	150	0.7	149.3	0.48
Cascara 0.6%	150	6.3	143.7	4.19
Tuna 6 %	150	0.4	149.0	0.26
Tuna 8 %	150	0.5	149.5	0.32
Tuna 10 %	150	0.6	149.4	0.40
Cas. 0.2% y Tuna 10%	150	0.6	149.4	0.37

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13.
Determinación de la altura promedio de los adobes

Descripción	Altura (mm)			
	Longitud estándar	s	Longitud promedio	%
	Patrón	100	0.4	99.6
Cascara 0.2%	100	0.4	99.6	0.42
Cascara 0.4%	100	0.3	99.7	0.30
Cascara 0.6%	100	1.3	98.7	1.25
Tuna 6 %	100	2.3	97.7	2.30
Tuna 8 %	100	2.3	97.7	2.33
Tuna 10 %	100	2.5	97.5	2.5
Cas. 0.2% y Tuna 10%	100	2.4	97.6	2.42

Fuente: Elaboración propia.

3.12 Análisis Gaussiano de la resistencia a la compresión

Se ha calculado la desviación estándar y la variación de la resistencia a la compresión de adobe correspondientes a cada una de las muestras.

3.13 Probabilidad de ocurrencia

Los resultados que se obtuvieron de las probabilidades en los ensayos se visualizan en las Tablas 14-17 y en las Figuras 7-10 respectivamente.

Tabla 14.
Probabilidad de ocurrencia de la muestra patrón

Muestra Patrón			
Desviación estándar	1.337		
Variación	8.617		
Probabilidad	Resistencia (kg/cm2)		
68.20%	14.65	a	16.20
95.20%	13.79	a	16.89
100.00%	12.92	a	17.57

Fuente: Elaboración propia.

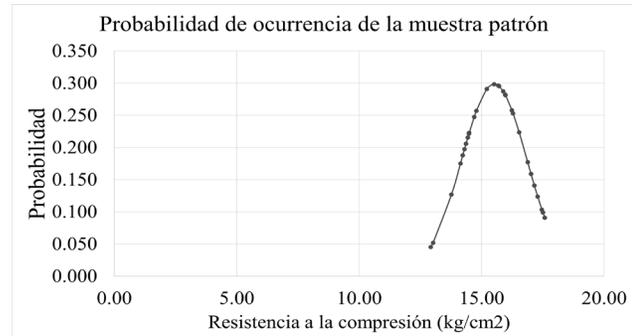


Figura 7. Probabilidad de ocurrencia de la muestra patrón
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15.
Probabilidad de ocurrencia de la muestra patrón + 0.2% de cáscara

Muestra Patrón + 0.2% de cáscara			
Desviación estándar	1.300		
Variación	8.198		
Probabilidad	Resistencia (kg/cm2)		
68.20%	15.30	a	16.92
95.20%	14.69	a	17.94
100.00%	14.07	a	18.95

Fuente: Elaboración propia.

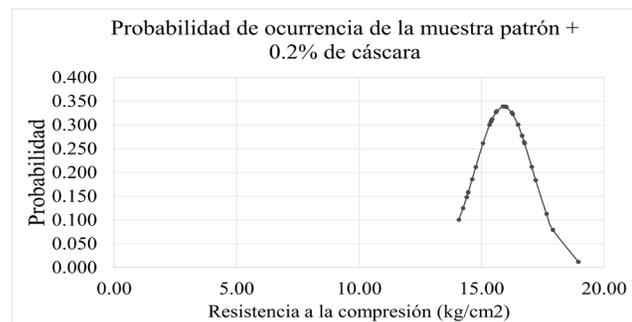


Figura 8. Probabilidad de ocurrencia de la muestra patrón + 0.2% de cáscara
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Probabilidad de ocurrencia de la muestra patrón + 10% de tuna

Muestra Patrón + 10% de tuna			
Desviación estándar		1.054	
Variación		6.842	
Probabilidad	Resistencia (kg/cm2)		
68.20%	14.98	a	16.16
95.20%	14.56	a	16.91
100.00%	14.13	a	17.66

Fuente: Elaboración propia

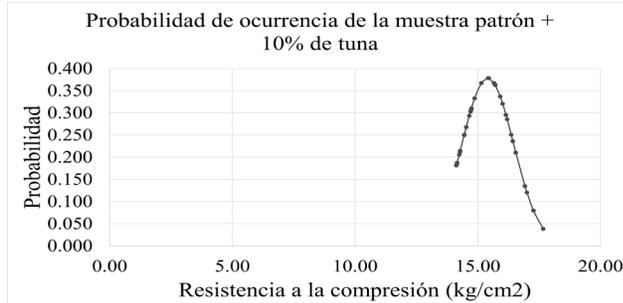


Figura 9. Probabilidad de ocurrencia de la muestra patrón + 10% de tuna
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Probabilidad de ocurrencia de la muestra patrón + 0.2% de cáscara +10% de tuna

Muestra Patrón + 0.2% de cáscara + 10% de tuna			
Probabilidad	Resistencia (kg/cm2)		
68.20%	16.01	a	17.52
95.20%	15.19	a	18.22
100.00%	14.38	a	18.92

Fuente: Elaboración propia

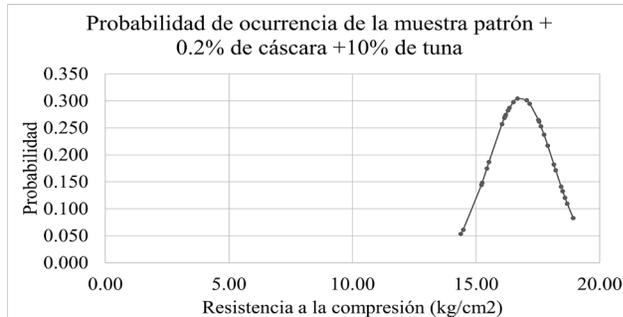


Figura 10. Probabilidad de ocurrencia de la muestra patrón + 0.2% de cáscara +10% de tuna
Fuente: Elaboración propia

Los valores registrados indican que incorporar cascarilla de *Physalis peruviana* en proporciones de 0.2%, 0.4% y 0.6% a los ladrillos de adobe aumenta la capacidad de resistir la compresión en comparación a aquellos que incluyen *Opuntia ficus-indica* en porcentajes de 6%, 8% y 10%. Se observó en la Tabla 5 resistencias de 15.98 kg/cm2, 14.72 kg/cm2 y 13.93 kg/cm2 con la cascarilla de *Physalis peruviana*, frente a 14.80 kg/cm2, 14.93 kg/cm2 y 15.41 kg/cm2 con el *Opuntia ficus-indica*. Al combinar ambos, la resistencia a compresión supera los valores obtenidos individualmente, logrando una resistencia máxima de 16.82 kg/cm2, superado la carga

indicada en la norma E.080 de 10.20 kg/cm2 [18].

Comparando las bajas adiciones de *Physalis peruviana* en concentraciones del 0.2%, 0.4% y 0.6% con la investigación realizada por [7], quienes utilizaron fibras de coco en concentraciones similares 0.25%, 0.50% y 0.75%, se evidencia que la compresión soportada es mayor con las fibras de coco. Mientras la cáscara de *Physalis peruviana* presenta una resistencia de 16.82 kg/cm2, la incorporación de fibras de coco alcanza una resistencia de 36.83 kg/cm2. Incluso supera la resistencia obtenida por [6], quienes registraron una resistencia de 29.14 kg/cm2 al incorporar paja toquilla al 6%.

Los adobes deben superar una carga de 6.25 kg/cm2 en pilas. Los datos registrados determinan que adobes con una incorporación de cascarilla del 0.2% y *Opuntia ficus-indica* del 10% alcanzaron una resistencia superior, con 7.47 kg/cm2. Esto es superior a la resistencia del adobe patrón, que registró 5.50 kg/cm2, la cual fue la menor resistencia observada en los ensayos.

Según la norma E.080 [18], se realizó un ensayo de Tracción simple, que evaluó las fibras de agave a las muestras de adobe [9]. Los resultados indican que al incorporar un 0.25% de fibras de agave, habría un aumento del 39.13% en la resistencia, equivalente a (0.32MPa) o 3.26 kg/cm2. En contraste, las muestras de cáscara de *Physalis peruviana* mostraron una resistencia de 1.04 kg/cm2 o (0.10MPa), con un incremento de 22.4% en contraste al adobe patrón de 0.85kg/cm2 [18], habiendo una disminución en la resistencia en comparación con las muestras de agave. Ambos tipos de muestras superaron el nivel de resistencia especificado en la norma E.080, que es de (0.08MPa) o 0.81 kg/cm2.

La absorción de humedad en los adobes, según la Tabla 10, indican que los adobes menos resistentes son aquellos que incorporan cascarilla de aguaymanto. Por otro lado, los adobes que presentaron mayor resistencia son los que contienen tuna en su composición, con una absorción del 12.48%. Este incremento del 8.7% en comparación con la muestra patrón se considera moderado. En contraste, [8], refiere en su investigación que utilizaron el extracto de la cabuya para estabilizar los adobes. Sin la presencia del extracto de la cabuya, se observó un deterioro severo en las unidades, mientras que, con el extracto, el deterioro fue ligero y, en algunas muestras, moderado. Con respecto a la succión en la Tabla 9 muestra que hay mejoría con respecto a los adobes que tienen incorporado cascarilla de *Physalis peruviana* siendo la mejor de 11.61% alcanzando un 25.1% de mejora frente a los 9.28% y la combinación de cáscara al 0.2% más incorporación de tuna al 10% mejoro el 30.3%

La variación dimensional en la longitud estándar de los adobes patrón es del 1.91%, lo que resulta menos favorable en comparación con las muestras que incorporan un 0.2% de cascarilla de aguaymanto. Esta diferencia representa un 0.58% y se traduce en una variación de 5.7 mm a 1.7 mm, respectivamente. En cuanto a la anchura estándar, los adobes que incorporan un 0.6% de cascarilla de aguaymanto presentan una mayor variación, con una diferencia de 6.3 mm. Por otro lado, los adobes patrón tienen una variación menor, con un 0.23% en comparación con el 4.19%. Finalmente, en la altura estándar, la variación más desfavorable es de 97.6 mm, lo que representa un 2.5% en comparación con el diseño original de 100 mm

4 Conclusiones

La adición de *Physalis peruviana* a las unidades de adobe podría tener un impacto mínimo en los ensayos que evalúan la resistencia física y mecánica. La proporción óptima de incorporación es del 0.2%. Sin embargo, a medida que se aumenta la cantidad de *Physalis peruviana* en los adobes, la capacidad de resistencia disminuye, como se observa en las Tablas 5, 6 y 7. Aunque las incorporaciones del 0.2%, 0.4% y 0.6% superan lo especificado en la normativa E.0.80, no se aconseja su utilización habiendo materiales que mejoran más las capacidades del adobe.

La incorporación de la tuna en proporciones del 6%, 8% y 10% como agente estabilizador frente al accionar del agua en el adobe resulta en un mejor desempeño. En las pruebas de inmersión, se observa una mejora del 8.7%. Además, en la Tabla 9 en términos de succión, se evidencia un aumento del 7.4%, 13.1% y 25.1%. La combinación óptima de cáscara en un 0.2% y tuna en un 10% mejora en un 30.3%. Por lo tanto, la hoja de *Opuntia ficus-indica* podría funcionar como un impermeabilizante natural.

Los análisis estadísticos de las pruebas de resistencia a la compresión, basados en el control (kg/cm²) basándose en la normativa ACI 318, proporcionan información valiosa. Tanto para el control en obra como para el control en laboratorio, se establece en la Tabla 14 una desviación estándar que varía entre 0.85 y 1.499. En ambos casos, esta condición es excelente, ya que es menor que los valores de referencia: 28.1 para el control en obra y 14.1 para el control en laboratorio. Por otro lado, la variación observada en el control porcentual es deficiente, superando un valor de 6.0 en obra y 5.0 en laboratorio. Según la Tabla 14, los valores oscilan entre 5.6 y 10.05.

Referencias

- [1] Sánchez, C.A., Alonso, G.E., Navarro, E.A., Ruiz, M.M., Martínez, M.W., and Álvarez, G.J., Physical-chemical, mechanical and durability characterization of historical adobe buildings from the State of Michoacan. *Journal of Building Engineering*, [en línea]. 86(1), art. 108802, 2024. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235271022400370X>
- [2] Ventura, A., Ouellet-Plamondon, C., Röck, M., Hecht, T., Roy, V., Higuera, P., Lecompte, T., Faria, P., Hamard, E., Morel, J.C., and Habert, G., The impact of sustainable practices on urban architecture. *Journal of Urban Sustainability*, 18(2), pp. 123-134, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-83297-1_8
- [3] Albuja, J., and Damián, A., Leveraging Life Cycle Cost Analysis (LCCA) for optimized decision making in adobe construction materials. *Applied Sciences*, 14(5), pp. 1760, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14051760>
- [4] Juárez J.P., De vivienda vernácula a vivienda popular rural en el municipio de Calpan, Puebla, México. INVI, [en línea 37(106), pp. 262-283,]. 2022. Disponible en: <https://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/66515>
- [5] Khtou, O., Aalil, I., Aboussaleh, M., and Zohra, F., Mechanical Analysis of Fiber Reinforced Adobe. *Civil Engineering and Architecture*, 9(7), pp. 2160-2168, 2021. DOI: <https://doi.org/10.13189/cea.2021.090705>
- [6] Marín-Alfaro, J.G.P., and Aguilar-Aliaga, O., Analysis of the maximum tension in adobes incorporating plant materials such as Toquilla Straw Fiber and Ichu. in: 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2022, pp. 1-8. DOI: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.301>
- [7] Chavez, J.Y., and Alva, A.E., Physical and mechanical properties of compacted adobe with incorporation of coconut fibers. in: 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology, pp. 1-9, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.447>
- [8] Benites, V., Sánchez, J., and Ruiz, G., Effect of admixture Cabuya polymer on the water resistance of earth blocks for building construction. in: 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology, 2018, pp.1-6. DOI: <https://doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.59>
- [9] Valenzuela-Inga, A.J., Benito-Zuñiga, J.G., Moggiano-Aburto, N.J., Cipriano-Solis, R.A., Gamboa, E.O., Julcarima, A.M. y Perez, G., Sustainable blocks reinforced with Agave americana L. Fiber and its mechanical properties. Tesis de Licenciatura. Repositorio de la Universidad Continental, 2023. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13288>
- [10] Laborel-Préneron, A, Giroudon M, Aubert, J.E., Magniont, C., and Faria, P., Experimental assessment of bio-based earth bricks durability. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, pp. 1-9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/660/1/012069>
- [11] Ratchakrom, C. and Rodvinij, P., Mechanical behavior of adobe bricks reinforced with water hyacinth fiber. *International Journal of GEOMATE*, 21(85), pp. 10-16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21660/2021.85.6227>
- [12] Araya-Letelier, G., Antico, F., Burbano- Garcia., Concha-Riedel, J., Norambuena-Contreras, J., and Saavedra-Flores, E., Experimental evaluation of adobe mixtures reinforced with jute fibers. *Construction and Building Materials*, 276, art. 122127, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122127>
- [13] Amany, M. and Rushdy, R., Evaluating the effect of adding sugarcane bagasse to the fire clay brick's properties. *Civil Engineering and Architecture*, 10(1), pp. 71-78, 2022. DOI: <https://doi.org/10.13189/cea.2022.100106>
- [14] Nasla, S., Gueraoui, K., Cherraj, M., Jamil, Y., and Bougtaib, K., Technical studies of adobe bricks stabilize with lime from the quarry of the commune of Had Laghoualem in Morocco. *International Journal on Engineering Applications*, 9(1), pp. 61-80, 2022. DOI: <https://doi.org/10.17654/0973576322013>
- [15] Hadi, A., Nawab, A., Alam, F., and Zehra K., Alginate/aloë vera films reinforced with tragacanth gum. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 4, pp. 1-8, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100105>
- [16] Soares, M.A., Faustino-Junior, W., Castro, B.M.C., Fernandez, J.A.M., Leite, G.L.D., and Zanuncio, J.C., Edessa mediatubunda (Hemiptera: Pentatomidae) feeding on *Physalis peruviana* (Solanaceae) in the highlands of Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 83(1), art. 248566, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.248566>
- [17] García-Godos, P., Prado-Sumari, I., Estrada, R. y Millán, B., Caracterización morfológica in situ de 34 accesiones de *Physalis peruviana* L. del departamento de Ayacucho. *Información Tecnológica*, 33(2), art. 200169, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000200169>
- [18] NTP E.080, Diseño y construcción con tierra reforzada, Ministerio de Vivienda, Construcción y Sanamiento. Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), [en línea]. 2020. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-me>
- [19] NTP 399.605, Método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión de prismas de albañilería. Comprensión en Prismas de Albañilería. [en línea]. 2013. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/545404360/NTP-399-605-2013-COMPRESION-EN-PRISMAS-DE-ALBANILERIA-1>
- [20] NTP 399.613, Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI. [en línea]. 2017 Disponible en: <https://es.scribd.com/document/526047833/NTP-399-613-2017>
- [21] NTP 339.127, Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras, MTC. [en línea]. 2019 Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/213648347/NTP-339-127-Contenido-de-Humedad>

- [22] NTP 339.134, Métodos para La Clasificación de Suelos con propósito de ingeniería. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI. [en línea]. 1999. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/357453953/NTP-339-134-1999-Suelos-Metodos-Para-La-Clasificacion-de-Suelos-Con-Proposito-de-Ingenieria>
- [23] NTP 339.135, Métodos de clasificación de suelos para uso en vías de transporte. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI. [en línea]. 1999. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/409187797/Ntp-339-135-Clasificacion-Aashto>

R. Lopez-Guerrero, es Ing. Civil en la Universidad Tecnológica del Perú, Chiclayo, Perú.
ORCID: 0009-0002-6796-9767

O. Bustamante-Valencia, es estudiante del décimo ciclo de la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Tecnológica del Perú, Chiclayo, Perú.
ORCID: 0009-0004-5400-205X

B.E. Oblitas-Gastelo, es MSc. en Administración de Empresas con mención en Finanzas: Proyectos de Inversión de la Universidad ESAN. Es Ing. Civil

de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque. Auditor en la Contraloría General de la República del Perú desde el 2006. Jefe de OCI en la Municipalidad Provincial de Chiclayo y anteriormente en Zona Registral II - Chiclayo - SUNARP, Gerencia Regional de Salud Lambayeque y Gobierno Regional Lambayeque. Docente de postgrado en la Universidad Cesar Vallejo y Señor de Sipán en Gestión Pública y de pregrado en diversas universidades de Lambayeque como Ingeniería Civil. Ha recibido reconocimientos por su labor destacada y ha participado como ponente en conferencias y congresos sobre control en obras públicas.
ORCID: 0000-0001-6791-4016

F.A. Fernández-Otoya, es Dra. en Ciencias de la Educación de la Universidad de Málaga en España. Esp. en Gestión y Didáctica de Programas de Educación a Distancia de la PUCP. Esp. en Educación Virtual graduada de la UNED en Madrid, España. Esp. en Administración y Planificación de la Educación a Distancia, graduada de la UNAM en México. Esp. en Enseñanza a Distancia por medio de la Red Interamericana de Formación en Educación y Telemática en Canadá. Consultora externa de Proyectos de Investigación otorgados por el FONDECYT en Chile. Participa en eventos académicos como miembro del Comité Científico. Autora de artículos en revistas científicas. Realiza Estancias de Investigación y Académicas en naciones de Europa, América del Norte y Latinoamérica
ORCID: 0000-0003-0971-335X