

Analysis of the Compressive Strength of Stabilized Adobe Incorporating Coal Ash and Wood Sawdust

Calla Sánchez Aracely Alexandra, Ing.¹ Carranza Liza Mario Rene, Ing²

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00018407@upn.edu.pe.

² Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, mario.carranza@upn.edu.pe

Abstract: *The research aimed to select a low environmental impact material, easily obtained in rural populations, in order to improve the mechanical properties of adobe and determine the compressive strength of stabilized adobe by incorporating coal ash and eucalyptus wood sawdust in different percentages. The research was of an experimental type carried out at the Universidad Privada del Norte - Cajamarca Campus (UPN), where 60 units of adobe blocks were produced in the Cinva Ram machine, classified into 5 types, conventional adobe, adobe plus 2% and 3% coal ash and adobe plus 3% and 5% wood sawdust; Subsequently, the samples were tested after 28 days in the compressive strength machine, obtaining: for conventional adobe 38.57 kg / cm², adobe plus 2% and 3% coal ash with values of 55.45 kg / cm² and 25.93 kg / cm² respectively, and for adobe plus 3% and 5% wood sawdust 25.76 kg / cm² and 25.90 kg / cm² respectively. It was concluded that the incorporation of 3% coal ash to conventional adobe increased the compressive strength by 43.76% compared to conventional adobe.*

Keywords: *Adobe, stabilized adobe, earthen construction, compressive strength.*

Análisis de la Resistencia a Compresión del Adobe Estabilizado Incorporando Ceniza de Carbón y Aserrín de Madera

Calla Sánchez Aracely Alexandra, Ing.¹ Carranza Liza Mario Rene, Ing.²

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00018407@upn.edu.pe.

² Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, mario.carranza@upn.edu.pe

Resumen– La investigación tuvo como objetivo seleccionar un material de bajo impacto ambiental, de fácil obtención en poblaciones rurales con el propósito de mejorar las propiedades mecánicas del adobe y determinar la resistencia a compresión del adobe estabilizado incorporando ceniza de carbón y aserrín de madera de Eucalipto en distintos porcentajes. La investigación fue de tipo experimental realizada en la Universidad Privada del Norte – Sede Cajamarca (UPN), donde se elaboraron 60 unidades de bloques de adobes en la máquina Cinva Ram, clasificados en 5 tipos, los adobes convencionales, adobe más 2% y 3% de ceniza de carbón y adobes más 3% y 5% de aserrín de madera; posteriormente, las muestras fueron sometidas a ensayos a los 28 días en la máquina de resistencia a compresión, obteniendo: para el adobe convencional 38.57 kg/cm², adobe más 2% y 3% de ceniza de carbón con valores de 55.45 kg/cm² y 25.93 kg/cm² respectivamente, y para el adobe más 3% y 5% de aserrín de madera se obtuvo 25.76 kg/cm² y 25.90 kg/cm² respectivamente. Se concluyó que la incorporación de 3% de ceniza de carbón al adobe convencional aumentó la resistencia a compresión en un 43.76% en comparación al adobe convencional.

Palabras clave: Adobe, adobe estabilizado, construcción con tierra, resistencia a compresión.

I. INTRODUCCIÓN

El adobe a lo largo del tiempo ha perdido mucha relevancia como material para la construcción de viviendas, sin embargo, es un material sostenible en todas partes del mundo, ya que su materia prima es la tierra. La construcción con adobe es uno de los procesos más sencillos y desarrolla beneficios como, el trabajar sin mano de obra calificada, la obtención y el transporte de materiales y equipos hacia la obra [1].

Las obras con adobe anteriormente no dependían de la industria de la tecnología en materiales y equipos [2]. El uso de recursos locales, naturales, renovables y biodegradables para la concepción de los elementos presenta a este material como una alternativa potencialmente económica y de bajo impacto en el medio ambiente [3].

La arquitectura rural ofrece distintas ventajas de ser sustentable y económica; pese a ello, con el transcurso de los años ha ido perdiendo valor y reconocimiento frente a la sociedad, especialmente en las zonas urbanas porque con el avance de la tecnología y la industria de la construcción, las personas prefieren materiales modernos.

El construir con adobe reduce las emisiones de carbono, a diferencia de los nuevos materiales en su proceso de fabricación que generan un impacto en el medio ambiente con el cambio climático [4].

Sin embargo, uno de los aspectos negativos del adobe es el contacto con el agua lo que produce la hinchazón y al secarse este se contrae generando fisuras y grietas en su superficie. Como en el Perú a finales de diciembre del 2016 hasta finales de mayo del 2017, se presentó el fenómeno climático llamado “El Niño Costero”. Como informa la Presidencia del Consejo de Ministros “Tras los eventos de El Niño Costero 2017, más de 40 000 familias peruanas vieron afectadas sus viviendas. Estas, que en su mayoría estaban fabricadas de quincha, barro o adobe, fueron declaradas inhabitables o colapsadas [5].

En el Perú el mayor porcentaje de viviendas que tienen más predominancia con material de adobe son Cajamarca con 10.89%, Cusco con 12.89%, La libertad 11.34% y Puno 12.41%, de un valor de 1 791 829 viviendas alrededor de todo el Perú [5].

También tienen desventajas con respecto a su comportamiento estructural en viviendas de mayor altura donde baja su resistencia [6]. Sin embargo se han realizado investigaciones previas a cerca del mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe en la resistencia a compresión y durabilidad al incorporar fibras tanto naturales como sintéticas [7].

Ha surgido entonces la necesidad de investigar algunos antecedentes donde se ha utilizado fibras vegetales y sintéticas, con el fin de mejorar las propiedades del adobe. En su artículo científico elaboraron adobes tradicionales adicionando paja de trigo triturada y aserrín de pino blanco en un 30%, 40%, 50%, 60% y 70 % de cada uno; obteniendo que la resistencia a compresión aumenta cuando el porcentaje de paja aumenta y se disminuye el porcentaje de aserrín [8].

El autor elaboró 108 unidades de adobes adicionando 3%, 5%, 8%, 10% y 12% entre ceniza de carbón y cal, evidenciando resultados que los adobes a los 28 días aumentan su resistencia a compresión cuando el porcentaje de ceniza y cal se van incrementando [9]. Así mismo, en su investigación elaboró bloques incorporando fibra vegetal (viruta de madera tornillo) y fibra de caucho (neumáticos usados) en porcentajes

de 2%, 3% y 5%, para determinar sus propiedades físico-mecánicas; donde concluyó que la resistencia a compresión aumenta con el porcentaje de 3% de viruta [10].

De este modo, se puede afirmar que; los adobes incorporados con algunos aditivos propagarían viviendas duraderas que pueden lograr reducir el costo de fabricación de una vivienda usando recursos naturales, reduciendo el consumo de energía cuando se fabrican los materiales de construcción como el ladrillo y se propagaría la vida sostenible [11]. Se menciona que los materiales que generan sostenibilidad para mejorar las propiedades de la tierra son las fibras vegetales, ya que no perjudican el medio ambiente y se pueden adquirir fácilmente [12].

La presente investigación se justifica por la existencia de materiales que al ser añadidos al adobe mejoran las propiedades del mismo, siendo el propósito de este estudio analizar el impacto de la incorporación de materiales como la ceniza de carbón y el aserrín de madera con el fin de maximizar sus beneficios y mejorar su resistencia a compresión. Debido a ello, surge la siguiente pregunta ¿Cuál es la resistencia a compresión del adobe estabilizado incorporando ceniza de carbón y aserrín de madera?

El objetivo general de este estudio fue: Analizar la resistencia a compresión del adobe estabilizado incorporando ceniza de carbón y aserrín de madera, para ello los objetivos específicos han sido: a) Determinar la resistencia a la compresión del adobe tradicional de patrón acuerdo a la norma peruana; b) Determinar la resistencia a compresión del adobe estabilizando incorporando ceniza de carbón; c) Determinar la resistencia a compresión del adobe estabilizando incorporando aserrín de madera.

La hipótesis planteada establece que la adición de 3% y 5% de ceniza de carbón y 2% y 3% de aserrín de madera, aumenta la resistencia a compresión en comparación al adobe tradicional.

En relación, con los porcentajes de ceniza de carbón y aserrín de madera previamente se realizó una revisión sistemática de estudios, artículos, revistas científicas e investigaciones de grado que emplearon los mismos materiales. A partir de ello, se extrajo la $f'c$ de su muestra patrón sin ningún material añadido (M_o); luego, la $f'c$ mín. que corresponde el $f'o$ mín aceptable según norma E.080 y el porcentaje de material añadido a la muestra patrón ($M_o + \%x$); de igual manera, para la $f'c$ máx. y su porcentaje correspondiente utilizado ($M_o + \%x$).

De esta manera, se realizó una media entre los porcentajes que obtuvieron una $f'c$ mínima en las investigaciones, para seleccionar el % mínimo a utilizar de cada material, del mismo modo, para el % máximo. Es así, que se obtuvo los valores de 2% y 3% para la ceniza de carbón, y 3% y 5% para el aserrín de madera de Eucalipto.

Para evaluar la hipótesis, se continuó con la comparación entre los valores del $f'c$ (M_o) y el $f'c$ mín. ($M_o + \%x$) de cada material añadido; así como, la comparación de $f'c$ (M_o) y el

$f'c$ máx. ($M_o + \%x$) de cada material. Puesto que, la variación porcentual entre el mínimo y máximo de la ceniza de carbón es de 16.57%, mientras que del aserrín de madera es de 33.04%. El promedio entre ambos porcentajes, redondeado da un 25%.

Es importante mencionar algunos de los conceptos claves en los que se basa la investigación.

Adobe: elemento elaborado con tierra, agua y paja, que debe ser mezclado de manera continua para expulsar el aire de la mezcla; para ser colocado en adoberas y que sean desmoldados de inmediato para su secado a la exposición del aire [13].

Adobe estabilizado: adobe en el que se ha incorporado otros materiales para mejorar las propiedades de resistencia a la compresión y estabilidad ante la presencia de humedad. [14].

Resistencia a la compresión de la unidad: se determina ensayando cubos cuadrados labrados cuya arista será igual a la menor dimensión de la unidad de adobe. Los ensayos se harán utilizando piezas completamente secas, siendo el valor $f'o$ mínimo aceptable 10.,2 kg/cm² [14].

Ceniza de carbón: es el residuo cuya descomposición es producto de la combustión de la materia vegetal de la madera.

Aserrín de madera: es el residuo resultante del proceso mecánico de aserrar la madera, este es uno de los principales residuos forestales [15].

En definitiva, este estudio se realizó con el fin de analizar el comportamiento de la resistencia a compresión del adobe convencional al añadir aserrín de madera o ceniza de carbón, ya que estos materiales fueron seleccionados por sus características sostenibles y su accesibilidad en poblaciones con recursos limitados, donde pueden contribuir a mitigar el problema de la falta de una vivienda.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El enfoque de la investigación fue cuantitativo, pues las variables fueron sometidas a condiciones específicas para analizar sus reacciones. La variable independiente es la resistencia a la compresión, mientras que las variables dependientes son la ceniza de carbón y el aserrín de madera; es decir, que en este estudio se recolectaron datos a partir de muestras para realizar un análisis con el propósito de responder a la hipótesis planteada a través de técnicas e instrumentos.

El diseño de la investigación fue experimental, ya que las muestras fueron sometidas a condiciones y parámetros específicos para observar resultados y reacciones. Además, adoptó un nivel de estudio explicativo, enfocando el interés del porqué y cómo se desarrollan las variables.

Es importante mencionar que la población del objeto de estudio estuvo conformada por un total de 60 unidades de bloques de adobes fabricados en la máquina Cinva Ram. La muestra seleccionada se definió a través de la clasificación

asignada a cada grupo de adobes, teniendo en cuenta sus características específicas. A continuación, se presenta la descripción detallada de dichas muestras:

TABLA I
CANTIDAD DE MUESTRA PARA ENSAYO A COMPRESIÓN

Descripción	Material añadido	Porcentaje	Unidades
Adobe convencional	-	-	12
Adobe con	Ceniza de carbón	3%	12
		5%	12
Adobe con	Aserrín de madera	2%	12
		3%	12
Total			60

Para el desarrollo de esta investigación, la selección de la muestra de tierra fue extraído de la cantera de Santa Bárbara, ubicado en el departamento de Cajamarca, provincia de Baños del Inca y centro poblado de Santa Bárbara.

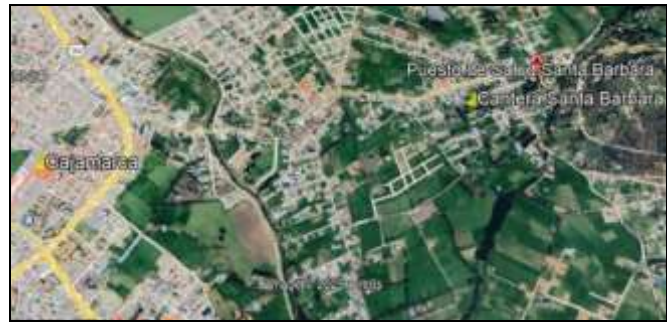


Fig. 1 Ubicación de la cantera. UTM: Este 775543.00 m Norte 9210779.00 m Cota: 2768 m (Zona-17S Datum: WGS84).

A continuación, se describen los procedimientos realizados para este estudio.

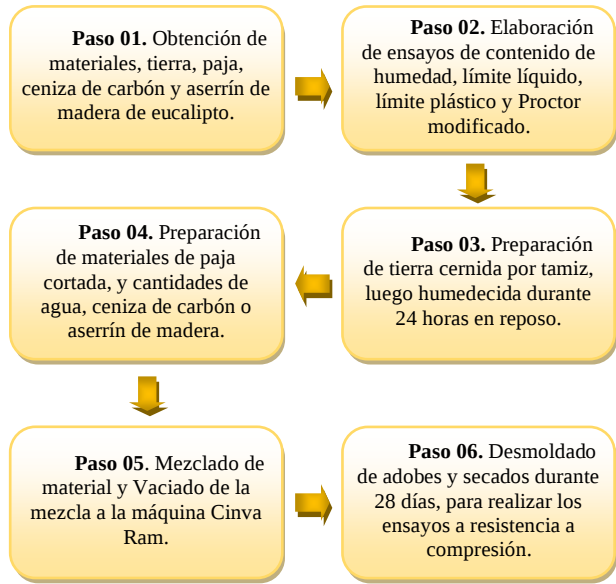


Fig. 2 Procedimiento aplicado en la investigación

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron guías y protocolos del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Privada del Norte – Sede Cajamarca (UPN). Los ensayos realizados fueron: contenido de humedad, granulometría mediante tamizado por lavado, límite líquido, límite plástico, proctor modificado y resistencia a compresión.

Cabe recalcar que, para el procesamiento de datos en gabinete se utilizó una hoja de cálculo para elaborar una base de datos obtenidos a través de los ensayos de mecánica de suelos realizados en el laboratorio. De esta forma, realizar los cálculos estadísticos e interpretar los resultados mediante tablas y gráficas.

III. RESULTADOS

Los ensayos realizados en el laboratorio de mecánica de suelos de la UPN, arrojaron los siguientes resultados:

TABLA II
RESULTADO DE ENSAYOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE UPN

Ensayos de mecánica de suelos		
Promedio porcentaje de humedad	%	7.69
Porcentaje que pasa por tamiz N°4	%	93.28
Porcentaje que pasa por tamiz N°20	%	57.64
Promedio de límite líquido	%	42.69
Promedio de límite plástico	%	21.77
Índice de plasticidad	%	20.92

Según los resultados del límite líquido y el índice de plasticidad, el suelo pertenece a la clasificación CL: Arcillas inorgánica de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas y arcillas limosas. Así mismo, el ensayo realizado de proctor modificado obtuvo los siguientes resultados:

TABLA III
RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO

	Ceniza de carbón			Aserrín de madera	
	0%	3%	5%	2%	3%
Densidad seca máxima (gr/cm³)	1.69	1.62	1.71	1.51	1.50
Humedad óptima	12.62	9.83	12.89	15.11	17.93

Por un lado, de acuerdo a los resultados del proctor modificado podemos obtener la cantidad de agua que fue utilizada para fabricar cada grupo de 12 muestras de adobe. Por otro lado, calculamos de acuerdo a la cantidad del suelo el porcentaje de material incorporado (ceniza de carbón o aserrín de madera) a cada adobe.

TABLA IV
DOSIFICACIÓN PARA REALIZAR ADOBES

	Ceniza de carbón			Aserrín de madera	
	0%	3%	5%	2%	3%
Suelo (gr)	9000	9000	9000	9000	9000
Paja (gr)	90	90	90	90	90
Agua (ml)	1140	0.980	1160	1360	1610
Aditivo (gr)	0	270	450	180	270

En efecto, para realizar el ensayo a compresión de las 60 unidades de adobes con las cantidades anteriormente mostradas según parámetros y resultados de ensayos realizados, fueron clasificados como:

TABLA V
CODIFICACIÓN DE CLASIFICACIÓN DE MUESTRAS

Codificación	Descripción
MP	Muestra patrón
C3	Adobe más 3% de ceniza de carbón
C5	Adobe más 5% de ceniza de carbón
A2	Adobe más 2% de aserrín de madera
A3	Adobe más 3% de aserrín de madera

Se muestran los resultados del esfuerzo de resistencia a compresión de los adobes a los 28 días.

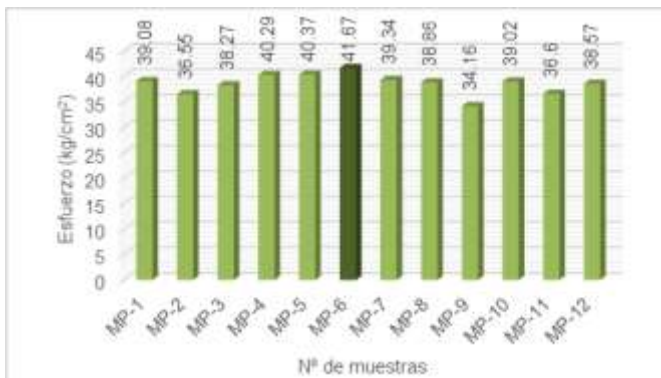


Fig. 3 Resistencia a compresión de 12 muestras de adobe convencional.

Se observa el esfuerzo último a compresión de los adobes convencionales, la muestra que soportó mayor carga fue la número 6 (MP-6) con 41.67 kg/cm². El promedio de resistencia a compresión de las muestras fue de 38.57 kg/cm².

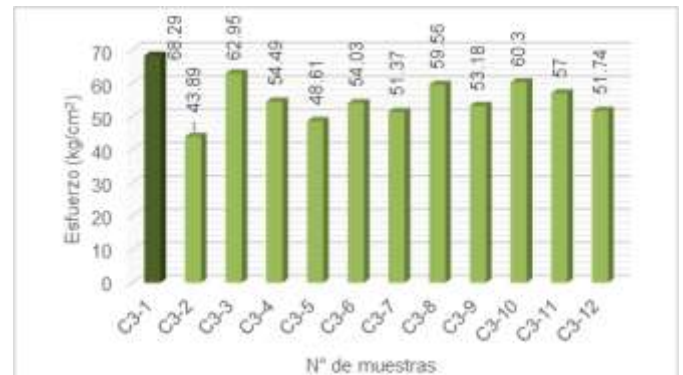


Fig. 4 Resistencia a compresión de 12 muestras de adobe más 3% de ceniza de carbón a los 28 días.

Se observa el esfuerzo último a compresión de los adobes + 3% de ceniza de carbón, la muestra que soportó mayor carga fue la número 1 (C3-1) con 68.29 kg/cm². El promedio de resistencia a compresión de las muestras fue de 55.45 kg/cm².

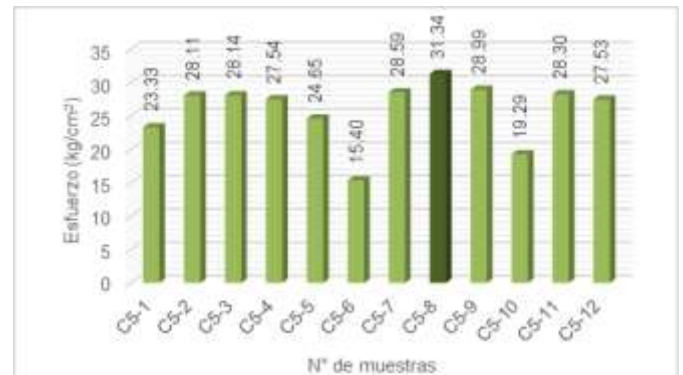


Fig. 5 Resistencia a compresión de 12 muestras de adobe más 5% de ceniza de carbón

Se observa el esfuerzo último a compresión los adobes más 5% de ceniza de carbón, la muestra que soportó mayor carga es la número 8 (C5-8) con 31.34 kg/cm². El promedio de resistencia a compresión de las muestras fue de 25.93 kg/cm².

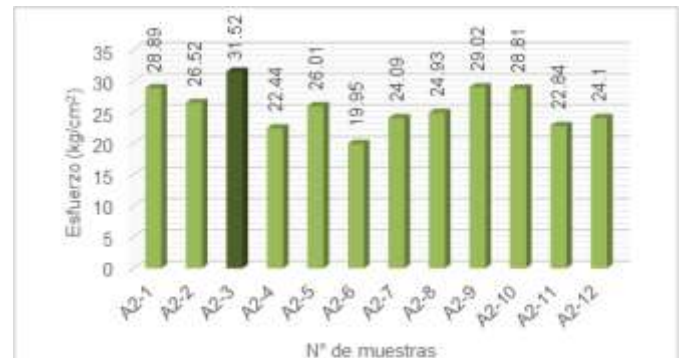


Fig. 6 Resistencia a compresión de 12 muestras de adobe más 2% de aserrín de madera a los 28 días

Se observa el esfuerzo último a compresión de los adobes más 2% de aserrín de madera, la muestra que soportó mayor carga fue la número 3 (A2-3) con 31.52 kg/cm². El promedio de la resistencia a compresión de las muestras fue de 25.76 kg/cm².

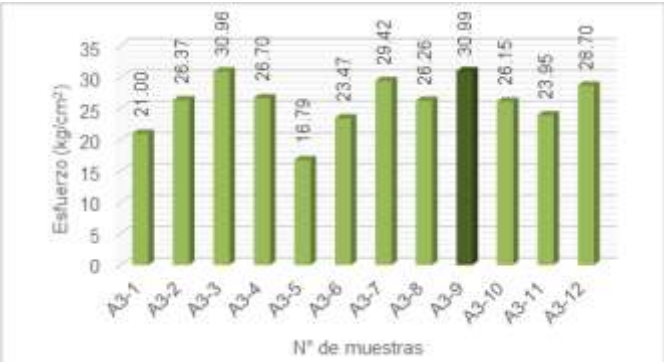


Fig. 7 Resistencia a compresión de 12 muestras de adobe más 3% de aserrín de madera

Se observa el esfuerzo último a compresión de los adobes más 3% de aserrín de madera, la muestra que soportó mayor carga es la número 9 (A3-9) con 30.99 kg/cm². El promedio de la resistencia a compresión de las muestras es de 25.90 kg/cm².

En la siguiente tabla se muestran las cargas últimas expresadas en (kg) de las 12 muestras de adobe según la clasificación de la muestra patrón y de la incorporación de ceniza de carbón y el aserrín de madera a los 28 días, de acuerdo a la codificación de la Tabla V.

TABLA VI					
CARGA ÚLTIMA DE CADA MUESTRA DE ADOBE					
CARGA ÚLTIMA DE LOS ADOBES (kg)					
N° de muestras	MP	C3	C5	A2	A3
1	8711	14798	5116	6523	4715
2	7862	9220	6199	6139	6039
3	8520	13582	6030	6938	7089
4	8787	11500	5647	4991	6047
5	8764	10259	5444	6036	3885
6	9171	11545	3358	4330	5420
7	8622	11114	6414	5544	6778
8	8526	13166	7030	5502	5904
9	7601	11409	6545	6667	6838
10	8732	13004	4491	6392	5769
11	7771	12042	6274	5112	5408
12	8284	11256	6166	5578	6535
Promedio	8446	11908	5726	5813	5869

El esfuerzo promedio de la resistencia a compresión que tuvieron los adobes para soportar una carga de la clasificación de los adobes se muestra en la siguiente figura.

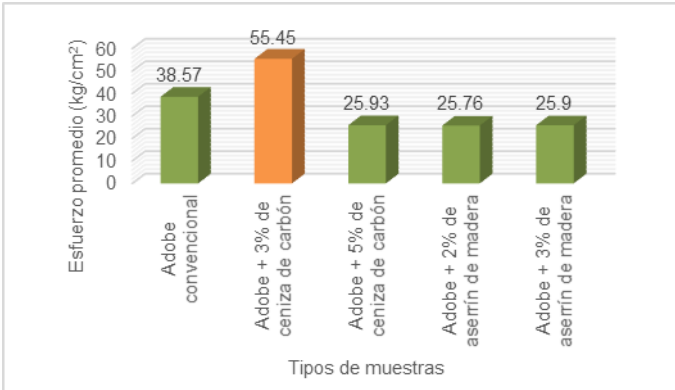


Fig. 8 Promedio de la resistencia a compresión de los 5 grupos de adobes

Se observa que el adobe más 3% de ceniza de carbón tiene el mayor resultado promedio al ser sometido todas sus muestras al ensayo a compresión obteniendo 55.45 kg/cm².

En la siguiente tabla se muestra la carga última, esfuerzo y deformación promedia según la clasificación de adobes.

TABLA VII			
PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE ADOBES A LOS 28 DÍAS			
Muestra	Carga última promedio (kg)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	Deformación promedia (mm)
MP	8446	38.57	7.85
C3	11908	55.45	6.60
C5	5726	25.93	6.33
A2	5813	25.76	7.16
A3	5868	25.90	8.83



Fig. 9 Autores en la elaboración de los especímenes de adobe

IV. DISCUSIÓN

A modo de comparación con los antecedentes citados anteriormente se puede interpretar que; en el estudio donde realizó adobes con paja de trigo y aserrín en diferentes porcentajes de 30%, 40%, 50%, 60% y 70% entre ambos materiales; concluyó que a medida que el porcentaje de aserrín disminuye la resistencia a compresión aumenta, obteniendo 43.38 kg/cm² cuando adiciona 30% de aserrín [8]; sin embargo, en esta investigación no se obtuvo el aumento de resistencia a compresión al disminuir el porcentaje de aserrín de madera de 3% a 2%.

En la tesis de grado donde se realizó adobes con ceniza de carbón y cal en porcentajes de 3%, 5%, 8%, 10% y 12% se concluyó que la resistencia a compresión es mayor a medida que la cal y la ceniza de carbón aumentan, obteniendo hasta un 4,75 MPa [9]; por el contrario, en esta investigación la resistencia a compresión aumenta obteniendo 55.45 kg/cm² cuando se disminuye el porcentaje de ceniza de carbón del 5% al 3%.

En el estudio donde se elaboraron adobes adicionando viruta de madera y caucho en porcentajes de 2%, 3% y 5% entre ambos materiales, obteniendo un mayor valor de resistencia a compresión al adicionar 3% de viruta y caucho, esto significó que al disminuir la viruta y el caucho su resistencia a compresión aumenta [10]; sin embargo, en esta investigación a modo de comparación, se concluyó que al disminuir el aserrín de madera del 3% al 2% la resistencia a compresión disminuye.

La limitación para el desarrollo de esta investigación, fue la escasa existencia de estudios y artículos de investigación científica donde se haya integrado los mismos aditivos a un adobe ya estabilizado, debido a ello, se evidencia que no se puede realizar la comparación de todos los antecedentes con esta investigación, puesto que no tienen los mismos aditivos integrados al adobe para mejorar su resistencia a la compresión.

Las implicancias prácticas del presente trabajo de investigación parte desde el aumento de la resistencia a compresión obtenida al incrementar 3% de ceniza de carbón al adobe, teniendo como consecuencia una construcción sostenible en la elaboración de adobes convencionales incorporando ceniza de carbón, material de fácil obtención en las poblaciones rurales producto de la combustión de la madera.

Con respecto a las implicancias teóricas, tenemos que para este estudio se realizó una búsqueda de información para lograr sustentar que existen diversos materiales que pueden mejorar las propiedades al adobe estabilizado teniendo esto como base para la presente investigación. De acuerdo a ello, debemos resaltar que específicamente que al incorporar un material en este caso, ceniza de carbón se obtiene un desempeño satisfactorio en los resultados del ensayo de resistencia a compresión.

V. CONCLUSIONES

Cumpliendo con el objetivo general “Analizar la resistencia a compresión del adobe estabilizado incorporando ceniza de carbón y aserrín de madera” y los específicos, mencionamos las siguientes conclusiones:

Se determinaron las propiedades físicas de la muestra de suelo mediante los ensayos de contenido de humedad obteniendo un valor de 7.69% de porcentaje de humedad; el análisis granulométrico mediante tamizado por lavado obteniendo 93.28% de porcentaje que pasa por el tamiz N°4 y 57.64% porcentaje que pasa por el tamiz N°200. También, se obtuvo el resultado de límites de consistencia; por un lado, el límite líquido con un 21.77% y el límite plástico con 42.69%, obteniendo un índice de plasticidad de 20.92%. De esta manera, clasificando al suelo como un CL, de arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media. Concluyendo con el primer objetivo específico se obtuvo la densidad seca máxima (gr/cm³) y la humedad óptima (%) para la elaboración de los adobes.

Se elaboró 60 muestras clasificándolas en: adobes convencionales, adobes incorporando 3% y 5% de ceniza de carbón y adobes incorporando 2% y 3% de aserrín de madera, siendo 12 unidades por cada clasificación.

Se realizó la comparación de la resistencia a compresión de los adobes incorporando 3% y 5% de ceniza de carbón, obteniendo 55.45 y 25.93 kg/cm² respectivamente y 2% y 3% de aserrín de madera, obteniendo 25.76 kg/cm² y 25.90 kg/cm² respectivamente; frente al adobe convencional que se obtuvo 38.57 kg/cm².

La hipótesis se cumple en parcialmente puesto que al comparar la f_c del adobe convencional con 38.57 kg/cm² y la f_c del adobe más 3% de ceniza de carbón con 55.45 kg/cm² se obtuvo un incremento de resistencia a compresión en un 43.76%. Sin embargo, no se cumple al incorporar 5% de ceniza de carbón puesto que su f_c disminuye en 32.77%; por otro lado, al incorporar 3% de aserrín de madera al adobe este disminuye en 33.21% y al incorporar 5% de aserrín de madera disminuye en un 32.84%.

De los resultados obtenidos se sugiere que en futuras investigaciones se considere adicionar un 2% y 4% de ceniza de carbón para evaluar el porcentaje óptimo también se recomienda realizar ensayos de compresión con un tiempo de secado mayor a los 28 días;

Durante el proceso de elaboración de los adobes se debe tener cuidado en dar un buen acabado a la superficie (enrasado liso), ya que podrían generarse errores al momento de realizar el ensayo a compresión, debido a que el equipo (prensa hidráulica) no podría tomar uniformemente toda la sección de área del espécimen, generando un dato erróneo o desfasado.

Por otra parte, la presente investigación contribuirá con los datos y resultados obtenidos en los ensayos a la resistencia a la compresión axial y, a dar un valor agregado a la ceniza de carbón y aserrín de madera.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada del Norte – Sede Cajamarca, por el apoyo brindado al permitirnos emplear sus laboratorios de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos.

REFERENCIAS

- [1] Rivera, H., Valderrama, O., Daza, A. & Plazas, G. (2021). Adobe como saber ancestral en construcciones autóctonas de Pore y Nunchía, Casanare. Colombia
- [2] Rivera, J. C. (2012). El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda: caracterización con fines estructurales. Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies, 25(2), 164-181.
- [3] Wiese, M., Onnis, S. y Meli, G. (2020). Desempeño térmico de cerramientos de tierra alivianada. Posibilidades de aplicación en el territorio peruano. Revista de Arquitectura (Bogotá), 22(1), 164-174.
- [4] Gama – Castro, J. E., Cruz y Cruz, T., Pi-Puig, T., Alcalá-Martínez, R., Cabadas-Báez, H., Jasso Castañeda, C., Díaz-Ortega, J. Sánchez-Pérez, S., López-Aguilar, F y Villanova de Allende, R. (2012). Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 64(2). 177-188.
- [5] INDECI – Instituto Nacional de Defensa Nacional (2017). Compendio Estadístico del Indeci 2017 – Parte 1. Gestión Reactiva. Dirección de Políticas, Planes y Evaluación. (Original publicado en 2017).
- [6] Domínguez, D. y Moya, J. (2022). Structural and mechanical performance of adobe with the addition of high-density polyethylene fibres for the construction of low-rise buildings. Engineering Failure Analysis, 139, 1-22.
- [7] Gonzáles, K. D., Sánchez, R., Pita, D. y Pérez, L.F. (2019). Caracterización de las propiedades mecánicas de un ladrillo no estructural de tierra como soporte de material vegetal en muros verde. Ingeniería, investigación y tecnología, 20(3), 1-9.
- [8] Costi, M., Loannou, L. y Philokyprou, M. (2021). Reproduction of traditional adobes using varying percentage contents of straw and sawdust. Construction and Building Materials, 294, 1-17.
- [9] Sandoval, G. D. (2021). Evaluación de la erosión y la resistencia del adobe adicionado con cenizas de carbón y cal. (tesis de pregrado). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú
- [10] Mantilla, J.C. (2018). Variación de las propiedades físico mecánicas del adobe al incorporar viruta y caucho. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- [11] Sharma, V., Marwaha, B. M., y Vinayak, H. K. (2016). Enhancing durability of adobe by natural reinforcement for propagating sustainable mud housing. International Journal of Sustainable Built Environment, 5(1), 141-155.
- [12] Eslami, A., Banadaki, H. M. y Ronagh, H. (2022). Sand-coated reeds as an innovative reinforcement for improving the in-plane seismic behavior of adobe walls. Construction and Building Materials, 326, 1.15.
- [13] Vargas, C. G. (2020). Reflexiones sobre arquitectura vernácula, tradicional, popular o rural. Arquitectura y Urbanismo, XLII (1), 146-163.
- [14] Norma E.080. Adobe. (2006, 10 de junio) Reglamento Nacional de Edificaciones.
- [15] Serret-Guasch, N., Giralte-Ortega, G. & Quintero-Ríos, M. (2016). Caracterización de aserrín de diferentes maderas. Tecnología Química Universidad del Oriente, 36(3), 468-479
- [16] Adegoke, K. A., Adesina, O. O., Okon-Akan, O. A., Adegoke, O. R., Olabintan, A. B., Ajala g, O. A., Maxakato, W. y Bello, O. S. (2022). Sawdust-biomass based materials for sequestration of organic and inorganic pollutants and potential for engineering applications. Current Research in Green and Sustainable Chemistry, 5. 2-39.
- [17] Arias, F. G. (2012). El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología Científica. Sexta Edición. Editorial Episteme.
- [18] Carlos, R. (2019). Resistencia a la compresión y flexión del adobe compactado con adición de tres porcentajes (1.5%, 3.0%, 4.5%) de viruta metálica. Universidad Privada del Norte. Perú
- [19] Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). Metodología de la Investigación Sexta Edición. Mc Graw Hill Education
- [20] INEI – Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018). Perú: Perfil Sociodemográfico Informe Nacional. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda, 1-644. (Original publicado en 2018).
- [21] Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e industria. Centro de Investigación en Mecatrónica y Sistemas Interactivos, Universidad Tecnológica Indoamericana, Quito Pichincha, Ecuador, 3(1), 34-39.
- [22] Morsy, M. I., Alakeel, K. A., Ahmed, A. E., Abbas, A. E. Omara, A. I. Abdelsalam, N. R. y Emaish, H. H. (2022). Recycling rice straw ash to produce low thermal conductivity and moisture-resistant geopolymer adobe brick. Saudi Journal of Biological Sciences. 29(5). 3759-3771.
- [23] Perú: Presidencia del Consejo de Ministros. (s.f.). Reconstrucción de viviendas con cambios. Consultado el 09 de junio de 2022.
- [24] Rendón-Macías, M. E., Villasis-Keeve, M. Á. y Miranda Novales, M. G. (2016). Estadística descriptiva. Revista Alergia México. 63(4). 397-407.
- [25] Rodríguez, L. S. (2020). Adobe bricks with sugarcane molasses and gypsum to enhance compressive strength in the city Cogua, Colombia. Revista de la Construcción, 19(3), 358-365,