

Compressive Strength of Compacted Adobes with Added Sugarcane Bagasse Ash at 5%, 10% and 15%

Jhonatan Luis Gómez Terán, Bach.¹ and Tulio Edgar Guillén Sheen, Ing.²

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00023857@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, tulio.guillen@upn.pe

Abstract. The objective of this research is to determine the compressive strength of adobe compacted with the addition of cane bagasse ash at 5%, 10% and 15%. This objective was achieved through the development of a methodology which consisted of carrying out Previous tests were carried out to define the properties of the soil and the ash that we will use in the preparation of the adobe. Also, once these data were obtained, they were analyzed to obtain the appropriate dosage to make the adobes. These blocks of compacted earth were dried covered from the sun and wind for 28 days, subsequently they were subjected to compression forces, where the "Pattern" sample was the one that resisted the most stress, giving a total of 62,234kg/cm², on the other hand, The lowest value obtained was from the sample with the addition of 15% CBCA, yielding a result of 20.397kg/cm², being 32.77% less resistant than the standard sample, concluding that the higher the percentage of ash, the lower the compressive strength. which refutes the hypothesis of the present investigation.

Keywords: Compacted Adobe, Sugarcane Bagasse Ash, Compression

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Resistencia a Compresión de Adobes Compactados con Añadidura de Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar al 5%, 10% y 15%

Jhonatan Luis Gómez Terán, Bach.¹  and Tulio Edgar Guillén Sheen, Ing.² 

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00023857@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, tulio.guillen@upn.pe

Resumen- *La presente investigación tiene por objetivo determinar la resistencia a la compresión de adobes compactados con añadidura de ceniza de bagazo de caña al 5%, 10% y 15%, dicho objetivo se logró mediante el desarrollo de una metodología la cual consistió en la realización de previos ensayos para definir las propiedades del suelo y la ceniza que emplearemos en la elaboración del adobe, también, una vez obtenidos esos datos, se analizaron para obtener de dosificación adecuada para realizar los adobes. Dichos bloques de tierra compactada se secaron cubiertos del sol y viento durante 28 días, posteriormente se sometieron a fuerzas de compresión, donde la muestra “Patrón” fue la que más esfuerzos resistió, dando un total de 62.234 kg/cm², por otro lado, el menor valor obtenido fue de la muestra con añadidura de 15% de CBCA arrojando un resultado de 20.397 kg/cm², siendo un 32.77% menos resistente que la muestra patrón, concluyendo que a mayor porcentaje de ceniza menor resistencia a la compresión se obtendrá lo que refuta la hipótesis de la presente investigación.*

Palabras Claves: *Adobe compactado, Ceniza de Bagazo de Caña de azúcar, Compresión.*

I. INTRODUCCIÓN

En [1], a nivel nacional existen 2 millones 148 mil 494 domicilios particulares, lo cuales tienen como material principal en sus muros exteriores adobe o tapia, lo que representa el 27,9%, siendo el segundo material de construcción más utilizado en las paredes de exteriores. A nivel departamental, Cajamarca (Perú) ocupa el primer puesto con 264 mil 310 viviendas, que equivale a (70,3%) del total de viviendas Cajamarca, puesto que, es la ciudad en la cual la gran mayoría de edificaciones de viviendas son a base de adobe en consecuencia de los escasos recursos monetarios de la población. Basándonos en estos factores de pobreza los cuales se relacionan a la falta de educación, ya que “a menor nivel de educación mayor incidencia de la pobreza”, podemos deducir que en su mayoría, dichas construcciones se realizan sin ningún conocimiento técnico de la Norma E.080 por ende, la unidad de bloque de tierra compactado (BTC) no es lo necesariamente resistente, por ello, esta investigación tuvo como finalidad la elaboración de adobes compactados con adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar al 5%, 10% y 15% como una posible solución en la elaboración de los adobes, mejorando sus características físicas, mecánicas. Por ende, el principal

objetivo de esta investigación es determinar la resistencia a la compresión de adobes compactados con añadidura de ceniza de bagazo de caña al 5%, 10% y 15%, por lo cual planteamos la siguiente hipótesis: La añadidura del 5%, 10% y 15% de CBCA mejorará la resistencia mecánica de los adobes compactados, con relación a la muestra patrón y a su vez supera la resistencia mínima a la compresión estipulada por la norma E080. En [2], el artículo científico nombrado “Caracterización de las cenizas de bagazo de la caña de azúcar para ser usadas en materiales de construcción”, tienen por objetivo estudiar las propiedades físico-mecánicas y el comportamiento puzolánico de las cenizas el bagazo de la caña de azúcar procedente de algunos ingenios azucareros tucumanos en dos estados, natural y procesados (molidos). Para ello, se analizó a la ceniza en dos estados natural y tamizada, se las sometió a distintos ensayos y se concluyó que uno de los factores más importantes consiste en activar el comportamiento puzolánico de la ceniza mediante la ignición de sus partículas.

Además, en [3] siendo una publicación científica denominada “Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar”, el diseño de estudio se basó en la realización de ensayos en laboratorio para obtener como resultado la resistencia a la compresión en probetas cilíndricas de concreto reforzado con fibras de bagazo de caña, para ello se preparó se diseñaron distintas dosificaciones concluyendo que la resistencia a compresión del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña es inversamente proporcional al porcentaje de la fibra adicionada y al diámetro de las partículas.

También según [4], en su estudio denominado “Estabilización de bloques de tierra comprimida (BTC) por adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) y óxido de calcio recuperado de conchas marinas”, se tuvo por objetivo someter especímenes y bloques fabricados con estabilizantes como CBCA y óxido de calcio extraído de conchas marinas a ensayos de resistencia que justifiquen si es factible el uso constructivo de dichos aditivos, para ello, la metodología aplicada consistió en ensayar las muestras a 7, 14 y 28 días luego de su fabricación con una tolerancia admisible de $\pm 3,6$ MPa y 12 horas respectivamente, acorde a la norma E.080. De las probetas ensayadas, el espécimen CBCA 01 a los 21 días fue la que mayor rendimiento tuvo, alcanzando 12.55 Mpa. Concluyendo que el empleo de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como estabilizante puede ser óptimo, puesto que, se obtuvieron BTC con un refuerzo puzolánico favorable, ya que se hace uso de un

residuo vegetal procesado mediante métodos basados en la combustión y por vía húmeda, reduciendo la emisión del CO₂ al ser un posible sustituto del cemento Portland.

Igualmente en [5], complementan la información bibliográfica extraída, la editorial de la Revista de Investigación y Cultura - Universidad César Vallejo titulada “Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión del concreto” brinda una perspectiva de la utilización del CBCA empleada en morteros con la finalidad de evaluar el efecto de este material puzolánico (CBCA) en la resistencia del concreto de 210 kg/cm², la metodología empleada se basó en el reemplazo parcial del cemento, en proporciones de 20 y 40%. Los datos obtenidos en laboratorio deslumbraron que el rendimiento a la resistencia a la compresión del concreto de las probetas disminuyó con relación al incremento de la proporción de ceniza en porcentaje al peso del concreto. El concreto con 20% de CBCA tuvo mejor comportamiento a compresión a los 7 y 28 días de curado, aunque ambas estuvieron 59% por debajo del concreto (muestra patrón).

A la par, en [6] publicación científica titulada “Caracterización física mecánica de los Adobes asados en las viviendas de las zonas urbanas marginales de la ciudad de Huánuco, Perú” realizada con el objetivo de estudiar las características físicas y mecánicas de los adobes en la zona urbano-marginales de Huánuco, para tener una referencia técnica de utilización. Se analizó la resistencia a la compresión y tracción de los adobes de acuerdo a la normativa E80 (Diseño y construcción con tierra reforzada); los resultados indican que los adobes tienen buen comportamiento a la resistencia de compresión, y mal comportamiento a la resistencia, de tracción concluyendo que con un 95% confiabilidad, que los adobes de las zonas urbanas marginales de Huánuco son resistentes a la compresión siendo importante seguir realizando distintas pruebas a fin de poder hacer el estudio de elementos que añadidos al adobe puedan mejorar su resistencia a la tracción y compresión, entre estos estudios se encuentra la investigación nombrada [7] “Efecto de la adición de aglomerantes en la resistencia mecánica y absorción del adobe compactado en el Departamento de Puno” llevando a cabo la metodología de analizar y estudiar las características de cada uno de los materiales a emplear para posteriormente, elaborar BTC empleando como estabilizador el cemento y como aglomerante la emulsión asfáltica, después se elaboraron los adobes con ayuda de la máquina CINVA. Finalmente, se sometieron a compresión con el objetivo de determinar los siguientes resultados, en cada unidad de albañilería compuesta por una dosificación de cemento 10%, emulsión 5% y agua 10% en relación con el peso del adobe demuestran ser BTC óptimos frente a altas fuerzas estructurales de compresión llegando a obtener un máximo de 57.40 Kg/cm² de promedio en comparación con la norma E.080 que permite un mínimo de 12 Kg/cm², y la NTP 331.201. [8] Finalmente, como antecedentes locales, en la investigación nombrada “Bloque de Adobe Estabilizado y compactado en Cajamarca” en su investigación científica “Bloque de adobe estabilizado y compactado en Cajamarca”, que tuvo por finalidad analizar los

efectos de la adición de cemento y la compactación con la máquina CINVA en la resistencia mecánica y absorción de agua del bloque de adobe mediante la metodología de observación directa de los distintos ensayos llevados a cabo en laboratorio obtuvo las siguientes conclusiones de su trabajo, la adición de cemento en su mayor porcentaje (14%) y compactación con la máquina CINVA, mejoró hasta tres veces el valor de la resistencia a la compresión con 52.36 kg/cm², hasta dos veces el valor de la resistencia a la flexión con 12.57 kg/cm² y redujo hasta en un 85% la absorción de agua del bloque de tierra común con un valor de 14.07% de absorción. En [9], en la investigación científica: “Efectos de la Incorporación de cuatro porcentajes (2.5 %, 5 %, 7.5 % y 10 %) de estiércol de caballo en la resistencia a la compresión y flexión del adobe”, quien hizo adobes compactados incorporando estiércol de caballo en determinados porcentajes, dichas muestras fueron realizadas con material extraído del distrito Los Baños del Inca - Caserío El Cerrillo (Cajamarca), elaborándose una centena de adobes, de los cuales se usaron 20 unidades para el ensayo de compresión y flexión como resultado: La “muestra patrón alcanzó un valor promedio de 36.80 kg/cm², los adobes con incorporación 2.5%, consiguieron un rendimiento promedio de 32.61 kg/cm², al 5%, se logró una media de 27.57 kg/cm², para las muestras con 7.5% de adición estiércol se logró un valor promedio de 23.44 kg/cm² y para los especímenes con adición del 10% el resultado promedio fue de 19.57 kg/cm². En la investigación [10], quien adicionó fibra de Maguey a adobes compactados con la finalidad de determinar la resistencia a la compresión axial del adobe compactado de 40 muestras con adición de fibra de Maguey mediante concentraciones de 0.25%, 0.50%, 0.75% y 1% de aditivo con respecto al peso del adobe, manteniendo constante el porcentaje de humedad, consiguiendo los siguientes resultados en laboratorio, para cada porcentaje de 0.25%, 0.50%, 0.75% y 1%, la resistencia a la compresión axial era de 24.75 kg/cm², 23.93 kg/cm², 23.49 kg/cm² y 21.88 kg/cm² respectivamente; y los adobes compactados sin adición de fibra, obtuvieron una resistencia a la compresión axial de 19.82 kg/cm². Concluyendo que el adobe compactado con mayor resistencia a la compresión se obtiene con la adición de 0.25% de fibra de Maguey.

II. METODOLOGÍA

El presente trabajo, es una investigación experimental, con un enfoque cuantitativo, ya que, se recopilaron datos obtenidos del laboratorio de suelos y concreto, con el objetivo de demostrar y corroborar la hipótesis planteada, para ello, se realizó el estudio de la resistencia a la compresión de adobes compactados con añadidura del 10%, 15% y 20% de CBCA, siendo estos comparados de manera estadística entre sí y con las probetas patrón e identificando mejoras o deficiencias según los resultados del ensayo, para ello, seguimos el criterio establecido por la [11], Norma E080, en relación al ensayo de compresión de adobes en cubos de 0.1m de arista, donde tuvimos que ensayar un mínimo de 6 adobes por cada porcentaje de CBCA, por ende, se consideró una población de 24 bloques de tierra compactados. De ese total, 6 fueron muestras de adobes patrón,

6 con 5% de añadidura de CBCA, 6 con 10% de añadidura de CBCA y 6 con 15% de añadidura de CBCA. Haciendo un total de población y muestra de 24 bloques de tierra compactada. Donde, se identificaron las probetas con mejor resistencia a la compresión obteniendo el porcentaje de añadidura de CBCA óptimo. Con lo que respecta al proceso de recolección y análisis de datos se emplearon los protocolos de laboratorio, obtenidos de las guías de laboratorio, con el objetivo de describir procesos relevantes de los ensayos siendo esta una metodología adecuada, puesto que, se registran datos observables que son verdaderamente significados para la elaboración de nuestro trabajo de investigación. Adicionalmente, se consideró que dicha investigación es aplicada, ya que se tuvo por finalidad la obtención de conocimiento mediante la aplicación de ensayos en laboratorio para posteriormente estudiar los resultados obtenidos en beneficio de la sociedad y el medio ambiente. Finalmente, la investigación fue de campo, puesto que, la CBCA se recolectó de la ciudad de Magdalena, asimismo, los adobes se elaboraron con tierra extraída de la Urbanización de Vivienda La Molina. Para la elección de la tierra, se llevaron a cabo ensayos de campo, con la finalidad de demostrar si la materia prima a utilizar era la adecuada. Siguiendo el plan de desarrollo de dicha investigación, se recurrió a la indagación de los componentes químicos de la ceniza de bagazo de caña de azúcar, para corroborar sus propiedades puzolánicas. Teniendo en cuenta que: Son materiales con propiedades puzolanas cuya composición química de los tres principales óxidos (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃) sea mayor del 70%.

Tabla 1

COMPOSICIÓN QUÍMICA INORGÁNICA DE LAS CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (CBCA) EXPRESADA COMO ÓXIDOS MÉTODO ESPECTROSCOPIA DE ENERGÍA DISPERSIVA (EDS) [5]

Composición química	%	Método utilizado
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	64.04	Espectroscopia de energía dispersiva (EDS)
Trióxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	11.89	
Trióxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	7.61	
Óxido de Calcio (CaO)	4.65	
Óxido de Magnesio (MgO)	4.01	
Óxido de Potasio (K ₂ O)	6.16	

SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃: 83.540%

Tabla 2

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR MÉTODO DE FLUORESCENCIA RAYOS X [4]

Composición química	%	Método utilizado
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	43.867	Fluorescencia rayos x (CBCA compuesto preparado)
Trióxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	5.507	
Trióxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	1.313	
Óxido de Calcio (CaO)	5.437	
Óxido de Magnesio (MgO)	7.827	
Óxido de Potasio (K ₂ O)	21.667	

SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃: 50.687%

Tabla 3

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS CENIZAS Y EL CEMENTO POR MÉTODO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX) [12]

Composición química	%	Método utilizado
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	66.067	Difracción de Rayos X (DRX)
Trióxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	8.700	
Trióxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	5.567	
Óxido de Calcio (CaO)	3.400	
Óxido de Magnesio (MgO)	2.933	
Óxido de Potasio (K ₂ O)	4.500	

SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃: 80.334%

Tabla 4

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR POR MÉTODO DE CALCINACIÓN [13]

Composición química	%	Método utilizado
Óxido de Silicio (SiO ₂)	50.8	MÉTODO DE CALCINACIÓN
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	6.3	
Trióxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	3.7	
Óxido de Calcio (CaO)	8.9	
Óxido de Magnesio (MgO)	1.9	
Óxido de Potasio (K ₂ O)	6.9	
Óxido de Azufre (SO ₃)	3.9	
Óxido de Fósforo (P ₂ O ₃)	2.8	
Óxido de Cloro (Cl ₂ O)	0.59	
Óxido de Cromo (Cr ₂ O ₂)	0.76	
Óxido de Titanio (TiO ₂)	0.68	
Impureza	8.1	

SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃: 60.8%

En las Tablas 1 y 3, se aprecia que en su mayoría los componentes SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ superan el 70% de la composición total de la ceniza de bagazo de caña de azúcar. Por otro lado, la ceniza empleada para llevar a cabo esta investigación cuenta con un 60.8% de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, lo que la hace una ceniza con características puzolanas bajas en comparación a las que superan el 70% por lo que concluimos que es un elemento apto para usarse como aditivo puesto que cumple con las características de un elemento puzolánico, dependiendo de sus componentes, dichas características puzolanas pueden ser más o menos eficientes en su uso constructivo. Corroboradas las propiedades químicas de la ceniza de bagazo de caña de azúcar continuamos con los siguientes procesos técnicos y prácticos:

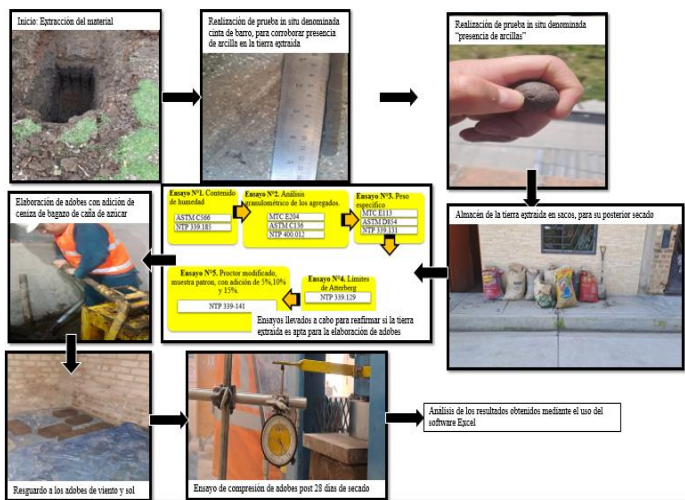


Fig 1. Etapas del desarrollo de la investigación [13]

III. RESULTADOS

Los resultados de los ensayos para determinar las propiedades de la materia prima empleada para realizar los adobes fueron:

Tabla 5
RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS [13]

Ensayo	Unidad	Resultado
Promedio del Peso Específico	gr/cm ³	2.304
Promedio Porcentaje Ensayo Contenido de Humedad	gr	17.659
Límite Líquido	%	32.662
Promedio Límite Plástico	%	20.302
Índice de plasticidad	%	12.360
Límite Líquido 5% CBCA	%	41.551
Promedio Límite Plástico 5% CBCA	%	30.518
Índice de plasticidad 5% CBCA	%	11.032
Límite Líquido 10% CBCA	%	40.415
Promedio Límite Plástico 10% CBCA	%	31.326
Índice de plasticidad 10% CBCA	%	9.089
Límite Líquido 15% CBCA	%	42.468
Promedio Límite Plástico 15% CBCA	%	27.328
Índice de plasticidad 15% CBCA	%	15.141
Análisis Granulométrico	% que pasa N°200	55.850
	% que pasa N°04	99.958

Con respecto a los resultados obtenidos en el ensayo de contenido de humedad, el valor promedio obtenido en base ensayar tres muestras denominadas “J-1”, “J-2” y “J-3”, con resultados de 18.064%, 17.474% y 17.440%, nos indica un contenido de humedad de 17.659% en 400.00gr de suelo húmedo, con ellos, se expresa que en 400 gr de materia prima existe 70.636 gr de agua. Por otro lado, para desarrollar el ensayo de límite líquido se experimentaron con 3 muestras, denominadas J-3, J-1, J-4, cada muestra requirió de 18,24 y 35 golpes respectivamente, de los cuales se obtuvo 34.179%, 32.258% y 31.674% de contenido de humedad. Teniendo en cuenta dichos resultados de índice de plasticidad, deducimos

que el material es una “TIERRA ARCILLOSA DE BAJA COMPRESIBILIDAD”. Este material se caracteriza por ser una masa de suelo la cual disminuye su volumen bajo efectos de una carga. Adicionalmente, el % que pasa el tamiz N° 200 = 55.850%. En base al análisis granulométrico mostrado en la tabla anterior, obtenemos el dato de que más del 50% del suelo pasa por la malla N° 200. Siendo así, las partículas más finas del tamiz N° 200, o sea las que tienen un diámetro menor que 0,074 mm, se denominan arcillas y limas, según esto, concluimos que el suelo utilizado es adecuado y pertinente para la elaboración de adobes, puesto que según la norma técnica E.080, la gradación del material que se planea utilizar para la elaboración de los adobes tendrá que ajustarse a los siguientes rangos: arcilla 10-20%, limo 15-15% y arena 55-70% y no se deberá utilizar de ningún modo suelos orgánicos. Finalmente, se realizó el ensayo de proctor modificado con la finalidad de definir la relación entre el contenido de humedad óptimo en base a la máxima densidad obtenida de los materiales a utilizar en la elaboración de adobes. En base a los resultados obtenidos en el ensayo de granulometría, se consideró desarrollar el ensayo de Proctor Modificado utilizando el método A, el cual consiste en dividir la muestra en 5 capas, cada capa será compactada con un total de 25 golpes. Donde se obtuvieron los siguientes resultados:

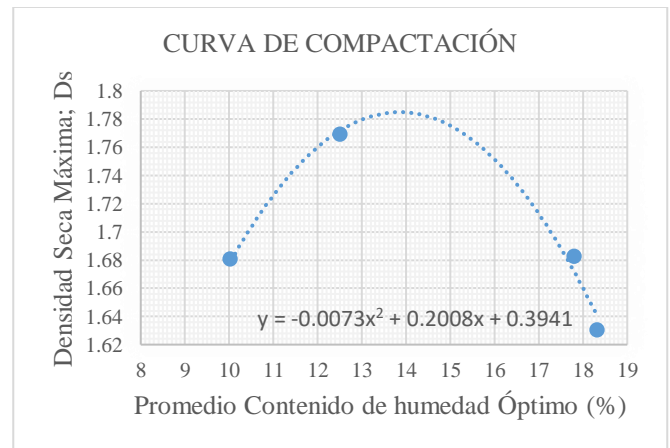


Fig 2. Curva de compactación Muestra Patrón [13]

- Densidad Máxima obtenida: 1.77 gr/cm³
- Al aplicar la siguiente formula: $-0.0073x^2 + 0.2008x + 0.3941$ reemplazando x por el valor de contenido de humedad, obtenemos los siguientes resultados:
- Contenido de Humedad óptimo: 13.95 %
- Cantidad de agua para elaboración de cada bloque de tierra patrón de 9000gr de suelo compactado: 1256 ml

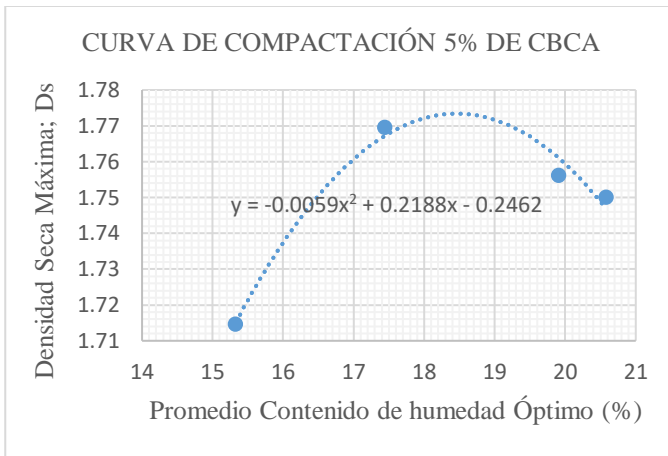


Fig 3. Curva de compactación de muestra con 5% de CBCA [13]

- Densidad Máxima obtenida: 1.78 gr/cm³

Al aplicar la siguiente formula: $y = -0.0059x^2 + 0.2188x - 0.2462$ reemplazando x por el valor de contenido de humedad, obtenemos los siguientes resultados:

- Contenido de Humedad optimo: 18.22 %
- Cantidad de agua para elaboración de cada bloque de tierra patrón de 9000gr de suelo compactado: 1639.8 ml.

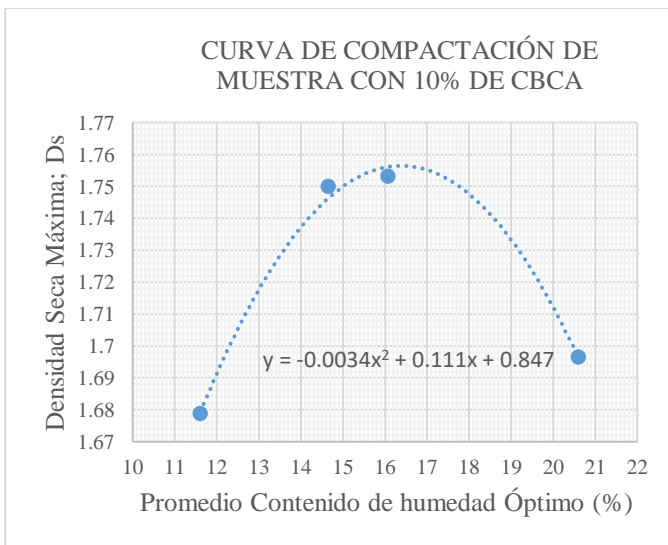


Fig 4. Curva de compactación de muestra con 10% de CBCA [13]

- Densidad Máxima obtenida: 1.75 gr/cm³

Al aplicar la siguiente formula: $y = -0.0034x^2 + 0.111x + 0.847$, reemplazando x por el valor de contenido de humedad, obtenemos los siguientes resultados:

- Contenido de Humedad optimo: 16.1 %
- Cantidad de agua para elaboración de cada bloque de tierra patrón de 9000gr de suelo compactado: 1449 ml.

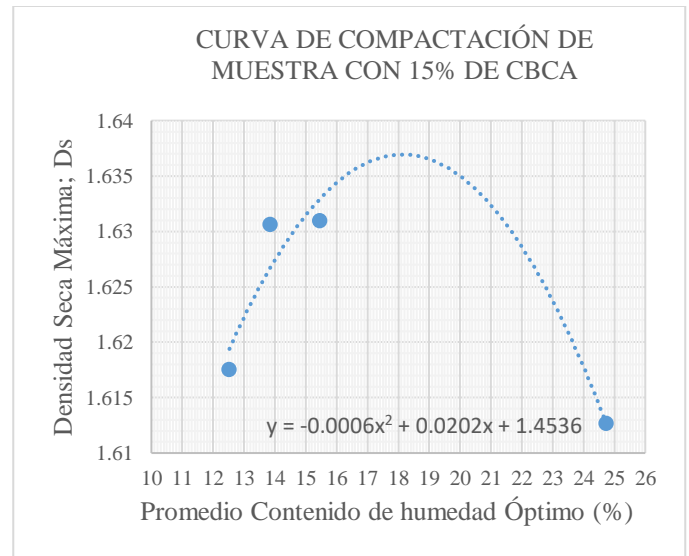


Fig 5. Curva de compactación de muestra con 15% de CBCA [13]

- Densidad Máxima obtenida: 1.62 gr/cm³

Al aplicar la siguiente formula: $y = -0.0006x^2 + 0.0202x + 1.4536$ reemplazando x por el valor de contenido de humedad, obtenemos los siguientes resultados:

- Contenido de Humedad optimo: 18.3 %
- Cantidad de agua para elaboración de cada bloque de tierra patrón de 9000gr de suelo compactado: 1647ml

Finalizados los ensayos correspondientes a la mecánica de suelos, procedemos a presentar y analizar los resultados obtenidos de los ensayos de compactación de los adobes.

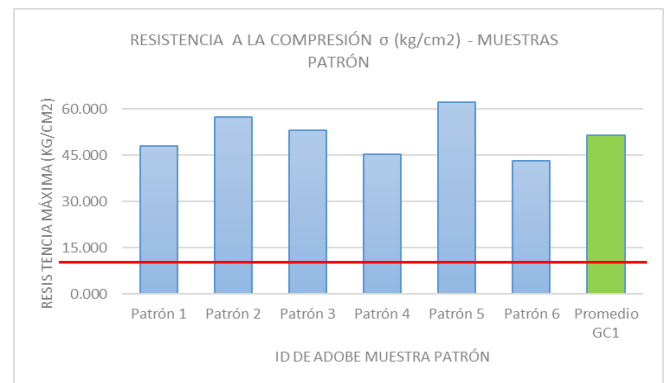


Fig 6. Comparativa de resistencia a la compresión de Muestra Patrón [13]

- Resistencia característica a compresión $F'b = 44.146 \text{ kg/cm}^2$

Los adobes patrón cumplen con la resistencia mínima establecida en la normativa E.080, con un promedio de 51.561 kg/cm². Por otro lado, la máxima resistencia fue alcanzada por la muestra denominada Patrón 5, la cual alcanzó un valor de 62.234 kg/cm². Adicionalmente, todos los especímenes superaron la resistencia mínima establecida por la normativa E.080 la cual es 12kg/cm²

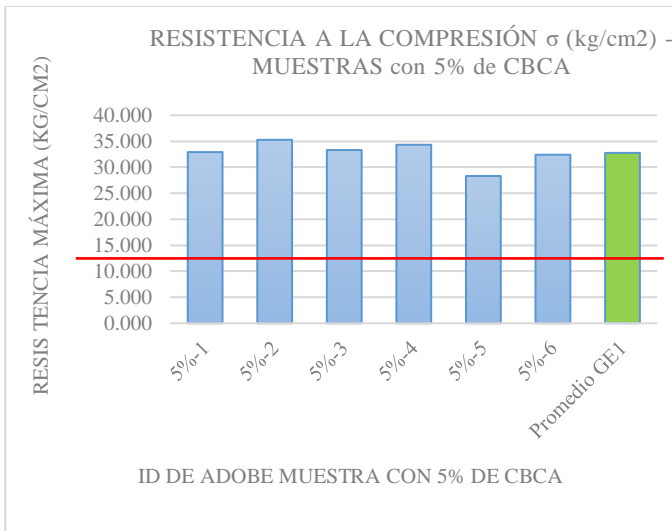


Fig 7. Comparativa de resistencia a la compresión de Muestra con 5% de CBCA [13]

- Resistencia característica a compresión $F'b = 30.360 \text{ kg/cm}^2$

Los adobes con añadidura de 5% de CBCA cumplen con la resistencia mínima establecida en la normativa E.080, con un promedio de 32.768 kg/cm^2 . Por otro lado, la máxima resistencia fue alcanzada por la muestra denominada 5%-2, la cual alcanzó un valor de 35.287 kg/cm^2 . Además, todos los especímenes superaron la resistencia mínima establecida por la normativa E.080 la cual es 12 kg/cm^2

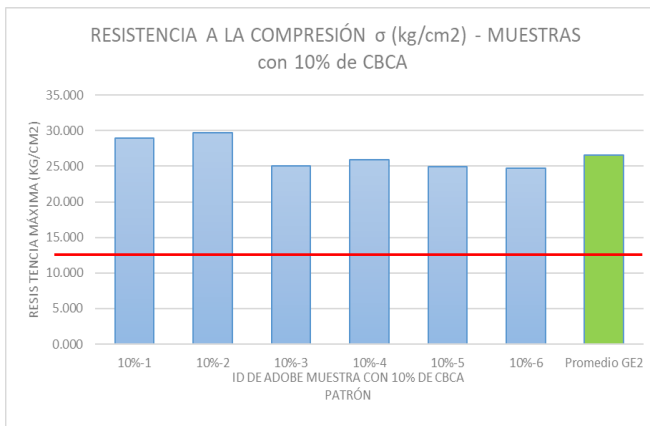


Fig 8. Comparativa de resistencia a la compresión de Muestra con 10% de CBCA [13]

- Resistencia característica a compresión $F'b = 24.363 \text{ kg/cm}^2$

Los adobes con añadidura de 10% de CBCA cumplen con la resistencia mínima establecida en la normativa E.080, con un promedio de 26.551 kg/cm^2 . Por otro lado, la máxima resistencia fue alcanzada por la muestra denominada 10%-2, la cual alcanzó un valor de 29.696 kg/cm^2 . Asimismo, todos los especímenes superaron la resistencia mínima establecida por la normativa E.080 la cual es 12 kg/cm^2

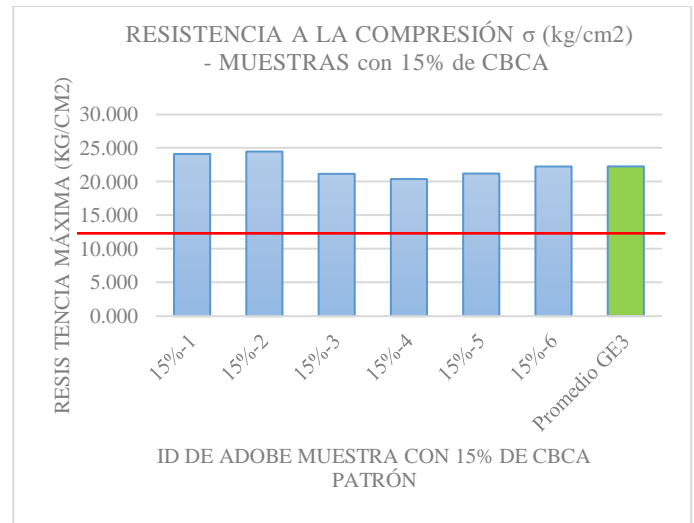


Fig 9. Comparativa de resistencia a la compresión de Muestra con 15% de CBCA [13]

- Desviación estándar: 1.685 kg/cm^2
- Coeficiente de variación: 0.076%
- Resistencia característica a compresión $F'b = 20.591 \text{ kg/cm}^2$

Los adobes con añadidura de 15% de CBCA cumplen con la resistencia mínima establecida en la normativa E.080, con un promedio de 22.277 kg/cm^2 . Por otro lado, la máxima resistencia fue alcanzada por la muestra denominada 15%-2, la cual alcanzó un valor de 24.487 kg/cm^2 . De igual manera, todos los especímenes superaron la resistencia mínima establecida por la normativa E.080 la cual es 12 kg/cm^2 .

Tabla 6
RESUMEN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL ADOBES COMPACTADOS. [13]

TIPO DE ADOBE	$F'b$ (kg/cm ²)
Adobe Patrón (GC)	44.146
Adobe con 5% de CBCA (GE ₁)	30.360
Adobe con 10% de CBCA (GE ₂)	24.363
Adobe con 15% de CBCA (GE ₃)	20.591

El aporte de la presente investigación consistió en determinar la resistencia a la compresión de adobe compactado con añadidura de ceniza de bagazo de caña al 5%, 10% y 15%. Todas las muestras de adobe superaron la resistencia mínima de compresión de 12 kg/cm^2 , donde, las muestras del Grupo Control – Adobes patrón alcanzaron un mayor valor en comparación con las muestras de Grupos Experimentales.

Con lo que respecta al análisis estadístico – Confiabilidad estadística se empleó el cálculo de la desviación estándar y del ANOVA.

Tabla 7
RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN DESVIACION ESTANDAR Y COEFICIENTE DE VARIACION [13]

TIPO DE ADOBE	DESVIACION ESTANDAR (kg/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIACION (%)
Adobe Patrón (GC1)	7.416	14.382
Adobe con 5% de CBCA (GE1)	2.409	7.350
Adobe con 10% de CBCA (GE2)	2.188	8.240
Adobe con 15% de CBCA (GE3)	1.685	7.566

Al analizar estos resultados, destacamos que el coeficiente de variación no supera el 30% en cada Grupo Experimental y Grupo Control, por lo que; podemos afirmar que los datos de las muestras son relativamente homogéneos. Por lo tanto, la media es representativa. Adicionalmente, en el Análisis ANOVA se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 8
ANÁLISIS DE VARIANZA Y ANOVA DE UN FACTOR DE ENSAYOS A LOS 28 DÍAS [13]

GRUPOS	CUENTA	SUMA	PROMEDIO	VARIANZA
Patron σ (kg/cm ²)	6	309.366	51.561	54.990
5% σ (kg/cm ²)	6	196.611	32.768	5.801
10% σ (kg/cm ²)	6	159.307	26.551	4.787
15% σ (kg/cm ²)	6	133.660	22.277	2.841

Se aprecia que, existe una varianza desproporcional entre el Grupo control y los Grupos Experimentales, adicionalmente, el Grupo control tiene el mayor promedio con lo que respecta a mayor resistencia a la compresión, por lo que comprendemos que el Grupo control es la muestra que más resistió los esfuerzos de compresión.

- Costo Unitario para la elaboración de adobes con adición de 5%
- ✓ Tierra arcillosa: Extraída del terreno de construcción. Costo 0 nuevos soles.
- ✓ Ceniza de Bagazo de Caña de azúcar: Se usaron 450 gr por cada adobe. En Magdalena 20kg costaron 5 nuevos soles, haciendo la conversión, 450gr costaron: 0.45 céntimos
- ✓ Agua: 1639.8 ml, el m³ de agua cuesta 3.40 nuevos soles. Haciendo la conversión: 0.0056 nuevos soles.
- ✓ Mano de obra: El costo HH para 2024 en Perú es de 28.77 nuevos soles, para la elaboración de un adobe primero se debe de realizar la mezcla que se utilizara, para un adobe este proceso demoró un aproximado de 10 minutos y para la elaboración de un adobe se tiene que comprimir dicha mezcla en la maquina CINVA RAM, este proceso demora 1 minuto por adobe en promedio. Realizando el cálculo: 5.2745 nuevos soles.
- ✓ Total: nuevos soles. 5.7301 nuevos soles
- Costo Unitario para la elaboración de adobes con adición de 10%
- ✓ Tierra arcillosa: Costo 0 nuevos soles.

- ✓ Ceniza de Bagazo de Caña de azúcar: 900gr por adobe dando un costo de 0.9 nuevos soles
- ✓ Agua: 1449 ml por adobe dando un costo de 0.005 nuevos soles
- ✓ Mano de obra: 5.2745 nuevos soles.
- ✓ Total: 6.1795 nuevos soles.
- Costo Unitario para la elaboración de adobes con adición de 15%
- ✓ Tierra arcillosa: Costo 0 nuevos soles.
- ✓ Ceniza de Bagazo de Caña de azúcar: 1350gr por adobe dando un costo de 1.35 nuevos soles
- ✓ Agua: 1647 ml por adobe dando un costo de 0.006 nuevos soles
- ✓ Mano de obra: 5.2745 nuevos soles.
- ✓ Total: 6.6305 nuevos soles.

IV. DISCUSIÓN

La importancia de esta investigación radica en plantear la mejora de las características físico – mecánicas del adobe mediante la añadidura de CBCA, el cual es un material con características puzolánicas, por otro lado, el adobe es un elemento constructivo altamente utilizado en nuestro país por lo económico de realizar y por la facilidad en conseguir los recursos para elaborarlo los resultados obtenidos se interpretan en conclusiones detalladas. A continuación, se presenta la Interpretación comparativa, la cual se desarrolló en referencia al análisis y comparación de los datos de investigaciones previas relacionadas con las variables de nuestro tema. Los objetivos planteados al inicio de la presente investigación se cumplieron y basándose en ello, obtuvimos los siguientes datos:

La resistencia característica a la compresión de los grupos ensayados fue la siguiente: Grupo Control fue de 44.146 kg/cm², Grupo Experimental 1: 30.360 kg/cm², Grupo Experimental 2: 24.363 kg/cm² y Grupo Experimental 3: 20.591 kg/cm². Al analizar estos resultados, deducimos que las 4 muestras superan la resistencia mínima a compresión según RNE E-080 (12 Kg/cm²). Siendo el Grupo Control quien alcanzó el máximo resultado de resistencia, por otro lado, el grupo experimental 3 el cual tiene 15% de añadidura de ceniza de bagazo de caña de azúcar, fue la muestra que alcanzó el menor resultado frente a fuerzas de compresión. Por lo ello, concluimos que a mayor añadidura de ceniza menor resistencia a la compresión, por ende, la hipótesis planteada “La añadidura del 5%, 10% y 15% de CBCA mejorará la resistencia mecánica del adobe compactado, con relación a la muestra patrón y a su vez supera la resistencia mínima a la compresión estipulada por la referencia [11]” fue cumplida parcialmente, ya que, nuestra población de estudio si superó los estándares de calidad establecidos por la normativa. Sin embargo, la añadidura de 5%,10% y 15% de ceniza de bagazo de caña de azúcar en los adobes no mejoró las características mecánicas de la muestra patrón, la cual tuvo un 0% de añadidura de este aditivo. ¿Por qué se dio este resultado? La disparidad entre las muestras patrón y con

especímenes con aditivo del 5%, 10% y 15% de CBCA, nos indica que, a mayor añadidura de ceniza, menor resistencia a las fuerzas de compresión tendrá el adobe, dichas implicancias refutan la hipótesis planteada en la presente investigación. Sin embargo, existen diferentes factores que pueden alterar estos resultados, entre ellos, la densidad de la Ceniza de Bagazo de Caña de azúcar, el porcentaje de activación del comportamiento puzolánico de la ceniza. Sin embargo, en la investigación [14], “Evaluación de las propiedades del adobe adicionando ceniza de cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar como estabilizantes, Ferreñafe 2020” en su investigación considero aplicar un menor porcentaje de ceniza tales cantidades fueron 0%, 4%, 6% y 8% de aditivo, obteniendo resultados favorables en relación a las propiedades físico mecánicas de los especímenes logrando un aumento a la resistencia a la compresión, cuyos resultados fueron: 19.99 kg/cm², 25.39 kg/cm², 26.41 kg/cm² y 30.08 kg/cm² respectivamente, siendo el máximo valor de resistencia a compresión obtenido de 30.08 kg/cm² con la añadidura de 8% de ceniza de caña de azúcar. Con lo que respecta a nuestro trabajo de investigación, el máximo valor promedio fue de 51.561 kg/cm², perteneciente a la muestra con 0% de añadidura de CBCA, en comparativa nuestra, resiste esfuerzos de compresión de hasta 41.66% más que la del espécimen con añadidura de 8% de ceniza de caña de azúcar. Al analizar los resultados del antecedente [5], titulado “Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión del concreto” en dicha investigación se llevó a cabo sus morteros mediante la utilización de ceniza de bagazo de caña de azúcar donde la suma de aluminio, óxidos de silicio y hierro supera lo establecido (70%) por la normativa ASTM C 618, obteniendo un valor de 83.54% en lo que se refiere a su peso, dicho aspecto es una condición requerida para que la CBCA sea considerado como material puzolánico. Sin embargo, en sus resultados obtenidos Las proporciones de CBCA, 20 y 40%, lograron resistencias a la compresión por debajo de la de diseño de 43.93% a 7 días y 22.62% a 28 días de curado, donde nuevamente a mayor uso de implementación de CBCA, menor resistencia a la compresión se obtiene. En contraste, la investigación [4], titulada “Estabilización de bloques de tierra comprimida (BTC) por adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) y óxido de calcio recuperado de conchas marinas” el espécimen CBCA02 en donde se empleó ceniza la cual fue pulverizada durante 15 minutos logrando una activación puzolánica de 57,52% donde la suma de aluminio, óxidos de silicio y hierro no supera lo establecido (70%) por la normativa ASTM C 618 logrando un valor de 50.687%, por ello, se empleó la dosificación de 8% de CBCA y 12% de cemento sometiendo a compresión a dichas muestras se alcanzó valores de 12.543 kg/cm², 38.443 kg/cm² y 42.726 kg/cm² a 7, 14 y 28 días de curado respectivamente, ejercen una mejor dureza y densidad al bloque, ya que para elaborarse se utilizaron dos elementos puzolánicos, obteniendo una mayor densidad y por ende una mayor resistencia frente a la compactación. La resistencia a la compresión característica máxima alcanzada por el GC – Muestra patrón supera en un

3.217% con respecto a este estudio. También, en la investigación [15] titulada “Evaluación y comparación técnica de las propiedades del adobe, típico convencional y el reforzado con cenizas del bagazo de caña de azúcar para la construcción de viviendas en el Centro Poblado de Tambar – Moro”, se evaluó las propiedades de las unidades del adobe convencional y a los que se adicionó ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA). A las unidades de adobe de 10 x10 x 10 cm se le sometió al ensayo de resistencia a la compresión, obteniendo el adobe convencional (patrón) una resistencia promedio de 9.27 kg/cm², mientras que a las unidades de adobe con añadidura de CBCA al 5%, 10% y 15% obtuvieron una resistencia promedio de 11.72kg/cm², 14.39 kg/cm² y 10.91kg/cm² respectivamente, en contraste a nuestra investigación, nuestros bloques de tierra compactada tienen una resistencia de 72.09% mayor en comparación a los resultados obtenidos al someter a compresión a los especímenes con 10% de CBCA los cuales obtuvieron un resultado de 14.39kg/cm².

V. CONCLUSIONES

Al analizar estos antecedentes y contrastar nuestros resultados, poder responder a la pregunta ¿Por qué nuestros grupos experimentales no superaron en resistencia a la compresión al grupo control?

Para ello, concluimos lo siguiente: La hipótesis planteada al inicio de la investigación “La añadidura del 5%, 10% y 15% de CBCA mejorará la resistencia mecánica del adobe compactado, con relación a la muestra patrón y a su vez supera la resistencia mínima a la compresión estipulada por la norma E080” se cumplió con lo que respecta a superar la resistencia mínima a la compresión estipulada por la norma E080, por otro lado, las muestras con añadidura del 5%, 10% y 15% de Ceniza de bagazo de Caña de azúcar no superó en resistencia a la compresión con respecto a la muestra patrón, por lo que el aditivo de ceniza de bagazo de caña de azúcar no mejoró las propiedades físicas del adobe en comparación con el grupo control (GC), esto debido a que, la ceniza empleada tenía un SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ del 60.8 % . Por ende, interpretamos que la hipótesis establecida, no es válida en relación con lo estipulado “La añadidura del 5%, 10% y 15% de CBCA mejorará la resistencia mecánica del adobe compactado, con relación a la muestra patrón”. Ya que, la ceniza requiere de una mayor calcinación para aumentar su porcentaje de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ y obtener mayores características puzolanas. Con respecto a la obtención de estos resultados, podemos deducir lo siguiente:

- En los componentes de la ceniza utilizada la suma de aluminio, óxidos de silicio y hierro no superaba lo establecido (70%) por la normativa ASTM C 618. Por ende, trabajo con una ceniza con baja actividad puzolánica
- Para activar el comportamiento puzolánico de la ceniza, se deberá de someter a un proceso de molienda y a un tratamiento térmico para aumentar su actividad puzolánica

Con respecto a los resultados obtenidos del ensayo de compresión, concluimos que:

- Los bloques de tierra compactada elaborados a base de lo estipulado en la Norma E.080 cumplieron con la resistencia mínima establecida de 12 Kg/cm², ya que, la resistencia a la compresión promedio de la muestra patrón fue de 51.561 Kg/cm². Siendo 62.234 Kg/cm² el máximo valor registrado.
- Los bloques de tierra compactada, elaborados con base en la Norma E.080 con añadidura de 5% de CBCA, cumplieron con la resistencia mínima establecida de 12 Kg/cm², al analizar los datos obtenidos de laboratorio determino que la resistencia a la compresión máxima de la muestra fue de 35.287 Kg/cm². Este espécimen es un 31.56% menos resistente que la muestra patrón.
- Los bloques de tierra compactada, elaborados con base en la Norma E.080 con añadidura de 10% de CBCA, determino que la resistencia a la compresión máxima de la muestra fue de 28.915 Kg/cm². Este espécimen es un 43.92% menos resistente que la muestra patrón.
- Los bloques de tierra compactada, elaborados a base de la Norma E.080 con añadidura de 15% de CBCA, determino que la resistencia a la compresión máxima de la muestra fue de 24.487 Kg/cm². Este espécimen es un 52.51% menos resistente que la muestra patrón.
- Al contrastar los valores obtenidos de los bloques de adobe con adición de Ceniza de Bagazo de Caña De Azúcar (CBCA) al 5%, 10% y 15% vs. los bloques de adobe patrón sometidos a compresión concluimos que, la resistencia de los adobes es inversamente proporcional al % de ceniza adicionada. Ya que, el menor valor registrado pertenece al espécimen 15%-4 con un esfuerzo de 20.397 kg/cm²

Surge la cuestión ¿Cuál es el porcentaje óptimo de CBCA requerido para el aumento de las propiedades mecánicas los adobes? Para responder a dicha pregunta nos apoyaremos en la bibliografía encontrada para llevar a cabo esta investigación y adicional a ello también nos ayudaremos en los datos recopilados de los ensayos realizados. A raíz del ensayo de Limite de consistencia deducimos que los suelos arcillosos con adición de 5% y 10% son suelos medianamente plásticos ($7 < IP < 15$) a excepción de la muestra con 15% de CBCA la cual demostró ser suelo altamente plástico debido a que el índice de plasticidad es mayor a 15. Lo que indica que a mayor porcentaje de CBCA mayor plasticidad tendrá el suelo. A mayor plasticidad mayor deformación, por ello lo recomendable sería adicionar un porcentaje menor al 10% de CBCA. Complementariamente en investigaciones similares, se obtuvieron mejores resultados con porcentajes menores al 10% de adición de CBCA.

VI. REFERENCIAS

- [1] I. N. d. Estadística, "CAJAMARCA. RESULTADOS DEFINITIVOS," 2018. [Online]. Available: <https://www.inei.gob.pe/>.
- [2] A. G. González Billón, A. R. Las Heras and H. Daniel Anaya, "Caracterización de Las Cenizas De Bagazo De La Caña De Azúcar para ser usadas en materiales de construcción," AATH2020, 2020.
- [3] Osorio Saraz, Varón Aristizabal, & Herrera Mejía, "Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar", 2007.
- [4] J. L. . L. Galarza-Viera, F. Hernández-Olivares and G. Arcones-Pascual, "Estabilización de bloques de tierra comprimida (BTC) por adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) y óxido de calcio recuperado de conchas marinas," Anales de edificación, 2021.
- [5] M. G. FARFÁN CÓRDOVA and H. H. PASTOR SIMÓN, "Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión del concreto," Universidad Cesar Vallejo, 2018.
- [6] J. R. SUMAYA, E. G. MATTO PABLO, D. E. ARESTEGUI DE KOHAMA, L. TORRES ROMERO and H. MARIANO SANTIAGO, "CARACTERIZACIÓN FÍSICA MECÁNICA DE LOS ADOBES USADOS EN LAS VIVIENDAS DE LAS ZONAS URBANO MARGINALES DE LA CIUDAD DE HUÁNUCO, PERÚ," Investigación Valdizana, 2017.
- [7] O. A. Pacuri Zapana, "Efecto de la adición de aglomerantes en la resistencia mecánica y absorción del adobe compactado en el Departamento de Puno," REVISTA CIENTÍFICA INGETECNO, Puno, 2014.
- [8] I. H. Mejía Díaz, "Bloque de Adobe Estabilizado y compactado en Cajamarca,," Cajamarca, 2014.
- [9] D. Y. Ortiz Zamora, "Efectos de la incorporación de cuatro porcentajes (2.5%, 5%, 7.5% y 10%) de estiércol de caballo en la resistencia a la compresión y flexión del adobe," Cajamarca, 2019.
- [10] L. L. Salazar Terrones, "Resistencia a la compresión axial del adobe compactado con adición de fibra de maguey, Cajamarca 2017," Cajamarca, 2017.
- [11] I. d. I. C. y. Gerencia, "NORMA E.080. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA," Viernes 7 abril 2017. [Online]. Available: <https://cdn-web.construccion.org/>.
- [12] Diana V. Vidal, Janneth Torres and Luis O. González, "CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA PARA ELABORACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: ESTUDIO PRELIMINAR," Revista de Física, Palmira, 2014.
- [13] J. L. Gómez Terán, "Resistencia a la Compresión de Adobe Compactado con Adición de Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar al 5%, 10% y 15%," Cajamarca 2022," Cajamarca, 2022.
- [14] F. J. Rocca Villalobos, "Evaluación de las propiedades del adobe adicionando ceniza de cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar como estabilizantes, Ferreñafe 2020," Universidad Cesar Vallejo, Lima, 2020.
- [15] J. S. Aburto Meléndez and E. A. Bravo Rodríguez, "Evaluación y comparación técnica de las propiedades del adobe, típico convencional y el reforzado con cenizas del bagazo de caña de azúcar para la construcción de viviendas en el CC.PP. de Tambar - Moro," Tambar, 2018.