

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

"RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOBE
COMPACTADO CON ADICIÓN DE CENIZA DE
BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR AL 5%, 10% Y
15%, CAJAMARCA 2022"

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Jhonatan Luis Gómez Terán

Asesor:

Ing. Tulio Edgar Guillén Sheen

<https://orcid.org/0000-0001-5024-7595>

Cajamarca - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Héctor Cuadros Rojas	43275350
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

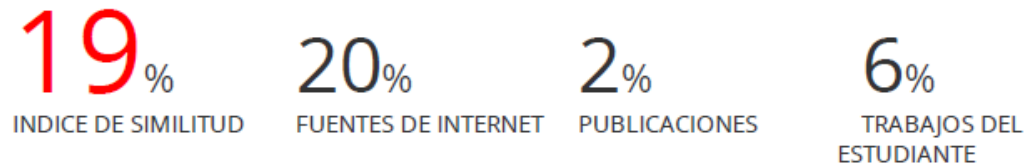
Jurado 2	Milagros Merma Gallardo	40012838
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Katia Carrión Rabanal	46269439
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

Tesis Jhonatan Luis Gómez Terán

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	13%
2	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	4%
3	polired.upm.es Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1%
5	revistas.unheval.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	1%

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 1%

DEDICATORIA

- A Dios
Por haberme dado la fuerza de voluntad y permitido llegar hasta esta instancia, por haberme dado salud para lograr mis objetivos y ser mejor ser humano, además de su infinita bondad y amor.
- A mi madre Nancy
Por la motivación constante, por su amor y apoyo incondicional, por sus consejos, sus valores, los cuales me han permitido ser una persona de bien, pero más que nada, siempre cuidarme.
- A mi padre Luis
Por apoyarme en todo momento, en el inicio de esta nueva etapa en mi vida, por los ejemplos, constancia y perseverancia que lo caracterizan y que me ha influenciado siempre, por el valor mostrado y el ejemplo para salir adelante y por su amor.
- A mi hermano Juan.
Por todo su apoyo y cariño, por ser mi inspiración y mi ideal a seguir.

AGRADECIMIENTO

Mi más cordial agradecimiento a todos y cada uno de los Ingenieros de la Facultad, de la carrera de Ingeniería Civil, por brindarme sus conocimientos y experiencia para llegar a ser un profesional.

Mi agradecimiento al director y asesor de tesis, por su colaboración y orientación en la realización del presente trabajo de investigación, por su paciencia y su en la realización de este proyecto.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad problemática	13
1.2. Formulación del problema	28
1.3. Objetivos	28
1.4. Hipótesis	29
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	30
CAPÍTULO III: RESULTADOS	62
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	86
REFERENCIAS	94
ANEXOS	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Propiedades de adobe</i>	24
Tabla 2 Ensayos en laboratorio para determinar las propiedades del suelo	27
Tabla 3 <i>Muestra para ensayo a compresión</i>	31
Tabla 4 Composición química inorgánica de las cenizas de bagazo de caña de azúcar (CBCA) expresada como óxidos método Espectroscopia de energía dispersiva (EDS)*	38
Tabla 5 Composición química de ceniza de bagazo de caña de azúcar método de FLUORESCENCIA RAYOS X.....	39
Tabla 6 Características físicas y químicas de las cenizas y el cemento por método de Difracción de Rayos X (DRX)	39
Tabla 7 Composición química de ceniza de bagazo de caña de azúcar método de calcinación.....	40
Tabla 8 Resultados de ensayo de Contenido de humedad	62
Tabla 9 Resultados de ensayo de Peso específico	63
Tabla 10 Resultados de ensayo de Límite Líquido (LL)	63
Tabla 11 Resultados de ensayo de Límite Plástico (LP)	64
Tabla 12 Resultados de ensayo de Límite Líquido (LL) con 5% de CBCA	65
Tabla 13 Resultados de ensayo de Límite Plástico (LP) con 5% de CBCA.....	66
Tabla 14 Resultados de ensayo de Límite Líquido (LL) con 10% de CBCA	67
Tabla 15 Resultados de ensayo de Límite Plástico (LP) con 10% de CBCA.....	68
Tabla 16 Resultados de ensayo de Límite Líquido (LL) con 15% de CBCA	68
Tabla 17 Resultados de ensayo de Límite Plástico (LP) con 10% de CBCA.....	69
Tabla 18 Resultados de ensayo de Análisis granulométrico mediante tamizado por lavado	70

Tabla 19 Resultados de ensayo de Compactación proctor modificado muestra patrón	71
Tabla 20 Resultados de ensayo de Compactación proctor modificado muestra con 5% de CBCA	73
Tabla 21 Resultados de ensayo de Compactación proctor modificado muestra con 10% de CBCA	75
Tabla 22 Resultados de ensayo de Compactación proctor modificado muestra con 15% de CBCA	77
Tabla 23 Tabla resumen resistencia a la compresión de adobe muestra patrón	79
Tabla 24 Tabla resumen resistencia a la compresión de adobe muestra con 5% de CBCA	79
Tabla 25 Tabla resumen resistencia a la compresión de adobe muestra con 10% de CBCA	80
Tabla 26 Tabla resumen resistencia a la compresión de adobe muestra con 15% de CBCA	80
Tabla 27 Resumen de resistencia a la compresión axial adobes compactados.....	81
Tabla 28 Resumen de desviación estándar de muestras	84
Tabla 29 Análisis de varianza y ANOVA de un factor de ensayos a los 28 días ...	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Gráfico de viviendas particulares con adobe o tapia predominante en las paredes exteriores, según departamento.....	14
Figura 2 Materiales puzolánicos.....	26
Figura 3 Diseño de investigación.....	32
Figura 4 Lote de donde se extrajo la tierra.....	34
Figura 5 Ubicación - obtención de la Ceniza de bagazo de caña de azúcar.....	35
Figura 6 Procesos realizados para la elaboración de adobes.....	40
Figura 7 Extracción de tierra.....	41
Figura 9 Prueba denominada “Cinta de Barro.....	42
Figura 8 Prueba para identificar la presencia de arcilla.....	42
Figura 10 Recolección de materia prima.....	43
Figura 11 Ensayos realizados para identificar las características del suelo.....	43
Figura 12 Muestras de ensayo de contenido de humedad introducidas en el horno.....	45
Figura 13 Realización de ranura en medio de muestra.....	47
Figura 14 Elaboración de cilindros sobre lámina de vidrio.....	48
Figura 15 Muestra lavada para ensayo de granulometría.....	49
Figura 16 Cerniendo la muestra para ensayo de granulometría.....	49
Figura 17 Fiola con agua y material para identificar el peso específico de la tierra.....	51
Figura 18 Cerniendo tierra por la malla N°4 para realizar ensayo de proctor.....	52
Figura 19 Compactación por capas de la muestra de tierra utilizada en este ensayo.....	52
Figura 20 Cernir material para elaboración de adobes.....	54
Figura 21 Elaboración de barro, mediante la mezcla de todos los materiales.....	55

Figura 22 Introducimos el barro en el molde de la compresora de la máquina	
CINVA RAM	55
Figura 23 Realizamos la compactación de la mezcla hasta obtener el adobe	56
Figura 24 Colocación de los adobes en un lugar protegido del viento y del sol	57
Figura 25 Ensayo de compresión de los adobes elaborados.....	58
Figura 26	60
Figura 27 Fechas de Calibración y mantenimiento de instrumento horno de secado	
.....	61
Figura 28	61
Figura 29 Gráfico de contenido de humedad vs Número de golpe	64
Figura 30 Gráfico de la carta de plasticidad – Índice de plasticidad vs Límite	
Líquido	65
Figura 31 Gráfico de contenido de humedad vs Número de golpe con 5% de	
CBCA	66
Figura 32 Gráfico de contenido de humedad vs Número de golpe con 10% de	
CBCA	67
Figura 33 Gráfico de contenido de humedad vs Número de golpe con 15% de	
CBCA	69
Figura 34 Gráfico de curva granulométrica.....	70
Figura 35 Gráfico de curva de compactación muestra patron	72
Figura 36 Gráfico de curva de compactación muestra con 5% de CBCA	74
Figura 37 Gráfico de curva de compactación muestra con 10% de CBCA	76
Figura 38 Gráfico de curva de compactación muestra con 15% de CBCA	78
Figura 39 Desviación Estándar de muestras Patrón	81
Figura 40. Desviación Estándar Muestras con 5% de CBCA	82
Figura 41 Desviación Estándar Muestras con 10% de CBCA	83

Figura 42 Desviación Estándar Muestras con 15% de CBCA.	83
Figura 43 Resumen general de la resistencia a la compresión.	85

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Contenido de humedad	45
Ecuación 2. Índice de plasticidad	48
Ecuación 3. Porcentajes de pesos retenidos.....	50
Ecuación 4. Porcentaje que pasa en cada matriz	50
Ecuación 5. Peso específico.....	51
Ecuación 6. Densidad seca.	53
Ecuación 7. Resistencia a la compresión.....	58
Ecuación 8. Resistencia a la compresión característica.....	58

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo determinar la resistencia a la compresión de adobe compactado con adición 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/cm^2 , por otro lado, el menor valor obtenido fue de la muestra con adición de 15% de CBCA arrojando un resultado de 20.397 kg/cm^2 , 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

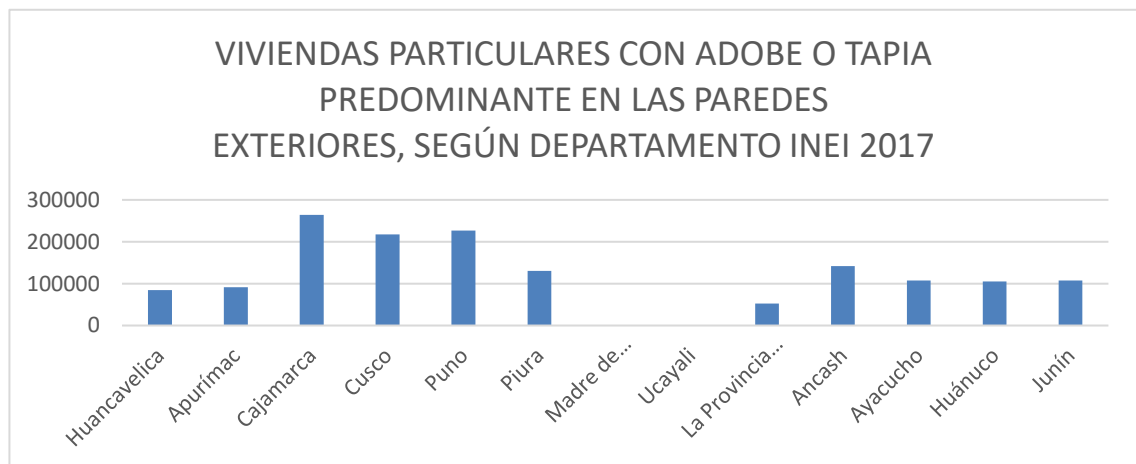
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Desde que el ser humano dejó de ser nómada, con la finalidad de mejorar su estilo de vida primitivo, inició asentándose en una zona habitable y empezó con la construcción de edificaciones mediante la utilización de madera, arcilla, ladrillos de adobe, paja, etc. Siendo el adobe el material que sigue teniendo un uso predominante en la actualidad, puesto que, se sigue empleado como una alternativa para el uso del suelo, además de ser una solución económica porque se pueden elaborar en la zona de construcción, significando una opción aceptable y eficiente para resolver el problema de la falta de vivienda. Basándose en lo mencionado, los datos obtenidos del Censo Nacional 2017 realizado por el INEI revelaron que 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 ocupa el primer puesto con 264 mil 310 viviendas, que equivale a (70,3%) del total de viviendas (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017); entendiéndose así que, en la zona rural de Cajamarca, predominan las viviendas elaboradas de adobe o tapia como se observa en el gráfico N.º 1.

Figura 1

Gráfico de viviendas particulares con adobe o tapia predominante en las paredes exteriores, según departamento.



Por ello, se plantea e incentiva a la población a la construcción de viviendas con adobe de tierra comprimida o también llamados bloques de tierra comprimida (BTC) estabilizada con un porcentaje óptimo de Ceniza de Bagazo de caña de azúcar, teniendo como material principal, la tierra, siendo esta muy económica y de fácil obtención. La *justificación* de esta investigación consistió en proporcionar una solución a la ciudad de Cajamarca, puesto que, como apreciamos en el Gráfico N.º 1, 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, según información extraída de la Encuesta Nacional de Hogares (ENAH) el 42% de ciudadanos en pobreza y pobreza extrema residen en viviendas de adobe (Arboccó, 2020). 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 y así minimizar fallas estructurales, para ello, se requirió de la extracción de tierra. Se consideraron varias zonas de extracción del suelo, sin embargo, la calicata se realizó cerca al lugar en donde se realizaron los adobes compactados, a fin de reducir los gastos de transporte. Finalmente, la presente investigación sirvió para aportar a futuros estudiantes, profesionales y a la población, para dar a conocer el mejoramiento del adobe mediante un elemento puzolánico como la *Ceniza de Bagazo de caña de azúcar* (CBCA) convirtiéndose en una opción viable para gente de bajos recursos.

A continuación, se mostrarán antecedentes internacionales relacionados con las variables de nuestro tema de estudio:

En el artículo científico nombrado "*Caracterización de Las Cenizas De Bagazo De La Caña De Azúcar para ser usadas en materiales de construcción*", escrito por González, Billón, Las Heras, & Anaya (2020) plantean como 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). En dicha investigación se analizó a la ceniza en dos estados natural y tamizada a una finura parecida a la del cemento comercial, la metodología aplicada para desarrollar esta investigación consistió en someter a la ceniza a distintos ensayos con la finalidad de identificar los factores esenciales para poder comprender si la ceniza puede o no ser empleada como un elemento aditivo y se concluyó que uno de los factores más importantes

consiste en obtener el contenido de materia orgánica aplicando la metodología de pérdida por ignición, siendo así que, la materia prima (CBCA) extraída y procesada de los ingenios La Florida, Cruz Alta y Trinidad, presentan propiedades físicas y químicas para ser considerado como una puzolana, coeficiente puzolánico (CP) < 1 e Índice de actividad puzolánica (IP) mayor a 75 % lo cual, según la norma, es factible considerarlo como un material puzolánico. Mientras que las CBCA de los demás ingenios, tanto en estado molido como en estado natural, si bien presentaron características químicas para ser consideradas como puzolana natural, sus IP no superaron lo establecido en la norma para ser consideradas como tal.

En la publicación científica denominada "*Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar*" elaborado por los autores Osorio Saraz, Varón Aristizabal, & Herrera Mejí (2007) definen al bagazo de caña de azúcar al residuo de materia después de extraído su jugo. Suelen utilizarlo como combustible de las propias azucareras, dichos residuos también pueden implementarse en el ámbito constructivo siendo materiales puzolánicos. La metodología desarrollada para llevar a cabo esta investigación 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 una dosificación con las siguientes características: Elemento de concreto con una variedad de caña Integral RD 7511 y concreto 1:2:3 bajo la norma NI 550 y 673. Se fabricaron probetas en concreto 1:2:3, (cemento, arena y grava) agregando las fibras retenidas por el tamiz N.º 4 (4,76 mm) y el tamiz N.º 6 (3,56 mm) en porcentajes de 0,5, 2,5 y 5,0 % en relación con el peso de las probetas. 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, aspecto que concuerda con los datos obtenidos de ensayos realizados en otras fibras como el coco, el bambú, entre otros materiales naturales.

En el proyecto nombrado “*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*”, tiene 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 Construcción con Tierra (Perú), que además indica el procedimiento para romper cubos de 10 cm de arista que para fabricación se ha reducido a 5 cm de arista. Luego, indica que se deben escoger cuatro de las seis mejores muestras; que en este caso fueron solamente tres las mejores CBCA01(CBCA70-30); CBCA02 (CBCA60-40); CBCA03 (CBCA50-50). Se aplicó carga constante a una presión de 0.80 MPa/s y se calculó la resistencia, siendo la muestra CBCA 01 a los 21 días la que mayor rendimiento tuvo, alcanzando 12.55 Mpa. En dicho trabajo de investigación se concluyó 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. (Galarza Viera, Hernández-Olivares, & Arcones-Pascual, 2021)

En algunos Antecedentes Nacionales, los cuales 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/cm^2 , 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). Estos resultados sugieren que no es recomendable utilizar proporciones de CBCA al 20 y 40%, ya que las muestras 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 indicándonos que dichos morteros no son una opción viable para el uso estructural por su disminuida resistencia a la compresión. (FARFÁN CÓRDOVA & PASTOR SIMÓN, 2018)

En la publicación científica titulada “*Caracterización física mecánica de los Adobes asados en las viviendas de las zonas urbanas marginales de la ciudad de Huánuco, Perú*” elaborada por Jaimes Reátegui, Matto Pablo, Arestegui De Kohama, Torres Romero, & Mariano Santiago (2018) 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 *“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. (Pacuri Zapana, 2014)

Finalmente, como antecedentes locales, se consideró la investigación de autores como Mejía Díaz (2014) 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.

Por su parte, el autor Ortiz Zamora (2019) en su 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”*, publicado la biblioteca virtual de la Universidad Privada del Norte, quien hizo adobes compactados incorporando estiércol de caballo en determinados porcentajes, dichas muestras fueron realizadas con material extraído del distrito Baños del Inca-Caserío El Cerrillo, elaborándose una centena de adobes, de los cuales se usaron 20 unidades para el ensayo de compresión y flexión, asimismo se utilizó el método SUCS para la clasificación de suelos, material y protocolos facilitados por el personal del laboratorio UPN, los resultados obtenidos fueron los siguientes: La “muestra patrón alcanzó un valor promedio de 36.80 kg/cm² con una desviación estándar de 0.6, los adobes con incorporación 2.5 %, consiguieron un rendimiento promedio de 32.61 kg/cm², con una desviación estándar de 0.46, al 5 %, se logró una media de 27.57 kg/cm², con una desviación estándar de 0.59, para las muestras con 7.5 % de adición estiércol de caballo se finalizaron los ensayos con un valor promedio de 23.44 kg/cm², con una desviación estándar de 0.69, y para los especímenes con adición del 10 % el resultado promedio fue de 19.57 kg/cm², con una desviación estándar de 0.24”

Asimismo, distintos autores pretenden mejorar la calidad física, mecánica del adobe compactado por medio de la adición de distintos elementos puzolánicos y la realización de ensayos en laboratorio, en el caso de la autora Salazar Terrones (2019) quien adiciono 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. Por lo que se finalizó la investigación con la enseñanza de que el adobe compactado con mayor resistencia a la compresión se obtiene con la adición de 0.25% de fibra de Maguey.

Algunas cifras: el 41,2 % de casas construidas en el Perú están hechas de adobe y tapial, según cifras publicadas en el Instituto Nacional de Estadística e informática (Gargurevich, 2019). Estas viviendas se aprecian, en su mayoría, en las zonas rurales, ya que, los pobladores cuentan con bajos ingresos económicos, además, este material brinda un confort térmico durante la estación de invierno. Los ciudadanos de bajos recursos económicos no cuentan con asesoramiento técnico y/o profesional, por ende, tienden a edificar sus hogares con unidades de adobe elaborados de manera artesanal, utilizando el mismo suelo de la zona y sin tener en cuenta las especificaciones técnicas requeridas para construir una vivienda segura y/o sismo resistente, asimismo desconocen lo estipulado en la norma E.080 RNE, por lo cual esto conlleva un alto riesgo frente a un evento climatológico o sísmico. Por este motivo, es crucial mejorar las cualidades mecánicas y físicas de este material de construcción, con el objetivo de que este pueda soportar, estar expuesto a distintas situaciones climatológicas y a diferentes patologías, y de esta manera apoyar a aquellos residentes que se encuentran en padecimientos económicos.

Una solución ante esta adversidad es elaborar un ladrillo de adobe compactado con adición de CBCA, debido a que es un material del cual se obtiene de la caña de azúcar, dicha materia prima registra una productividad de 124 toneladas por hectárea, situándolo

por encima de los obtenidos por Brasil y Colombia y ocupando el puesto 23 a nivel mundial (DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICAS AGRARIAS, 2020). La mejora de adobe compactado con la adición de CBCA brindará en las próximas edificaciones de viviendas una mejor resistencia y mayor tiempo de vida útil.

La Norma Técnica E.080 "Diseño y construcción con tierra reforzada" nos muestra el concepto del Adobe como un bloque sólido de tierra compacta sin cocer, el cual puede tener elementos como paja u otro material que mejore sus propiedades físico-mecánicas frente a distintos patógenos externos. La Normativa también establece los requerimientos generales para el tipo de suelo a utilizarse en el procedimiento de elaboración de adobes compactados, considerando que la gradación de la tierra debe acercarse a los siguientes porcentajes: arcilla 10- 20%, limo 15-25% y arena 55-70%, no debiéndose utilizar suelos que contengan gran cantidad de materia orgánica. Seguir estos lineamientos de gradación propuestos en la normativa es importante, ya que al aumentar un porcentaje mayor al 20% de arcillas provocaría grietas internas por contracción de secado, de agregar más del porcentaje de arena propuesto se perdería cohesión y de utilizar suelos orgánicos se perdería resistencia a la compresión y a la humedad. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2017)

Para la elaboración del adobe, inicialmente se debe de elegir una zona cercana al lugar de construcción de la estructura, una vez extraída la tierra se procederá a mezclarla con paja y agua hasta lograr una mezcla uniforme y maleable. Finalmente, la sustancia se colocará en moldes de madera y se dejará secar al aire libre durante un mínimo de 28 días. Dicho esto, los adobes compactados tienen un gran potencial de mejora en su resistencia física y mecánica debido a la adición de distintos elementos orgánicos e inorgánicos, por ellos, en el presente proyecto de investigación se plantea la hipótesis de que el CBCA,

gracias a sus propiedades que favorecen la alta actividad puzolánica lo cual incentiva a la mejora en sus capacidades físicas.

Es por las razones citadas que se utilizó la CBCA (Ceniza de bagazo de caña de azúcar) como adición puzolánica al 5%, 10% y 15% generándose una alternativa para el uso de este residuo agrícola con la finalidad de lograr un aumento significativo en la resistencia del adobe, para ello, se fundamentan los siguientes términos básicos:

El adobe, un material de construcción ampliamente utilizado en todo el mundo, es fabricado con tierra y su composición varía dependiendo del tipo de suelo de la región. Está compuesto en su totalidad por ciertos porcentajes de arena, arcilla y limo, aunque a veces se le añaden otros materiales como paja, hojas y ramas con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas. La Norma Técnica E.080 "Diseño y construcción con tierra reforzada" nos muestra el concepto del Adobe como un bloque sólido de tierra compacta sin cocer, el cual puede tener elementos como paja u otro material que mejore sus propiedades físico-mecánicas frente a distintos patógenos externos. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2017) La actual norma técnica E.080 "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA" nos señala que la tierra deberá de contener una adecuada presencia de arcilla, limo y arena (arcilla 10-20%, limo 15-25% y arena 55-70%), asimismo que se encuentre libre de materia orgánica que pueda ser perjudicial y la cual afecte su desempeño físico mecánico (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2017).

En la investigación titulada "EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE ADOBES CON SUSTITUCIÓN PARCIAL Y TOTAL DE AGUA EN PESO POR MUCÍLAGO DE TUNA EN PORCENTAJES DEL 0%, 25%, 50%, 75% Y 100%" elaborada por (QUINTANA CHOQUELUQUE & VERA

SALIZAR, 2017) se expresa que la arcilla es parte fundamental del adobe, puesto que, actúa como aglomerante manteniendo unida la composición del adobe, mientras que la arena sirve de esqueleto interno proporcionando sus características mecánicas resistentes a la compresión. Es por eso por lo que en una dosificación óptima entre ambos constituyentes influye en un mejor comportamiento del producto final, adicionalmente el agua utilizada para su utilización deberá de ser bebible, limpia, libre de sustancias deletéreas, ácidos, álcalis y materia orgánica puesto que, sirve como hidratante y asimismo como lubricante para las partículas en su composición produciendo así una mayor facilidad de manejo en la mezcla.

Los requisitos técnicos en la elaboración de adobes según lo establecido por el vigente Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma E.080 (2017), el adobe tiene que ser un elemento sólido capaz de resistir fuerzas a compresión y tracción, además solo deberá tener agujeros perpendiculares a su lado de asiento, y que estas no representen más del doce por ciento de su área bruta en dicha cara. El bloque de tierra tendrá que estar libre de materias orgánicas o rajaduras, debido a que, pueden afectar en sus propiedades físicas, reduciendo su resistencia o durabilidad (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2017).

Las medidas técnicas del adobe pueden ser de base cuadrangular o rectangular y en el caso de encuentros, de formas especiales, pueden tener ángulos diferentes de 90°. Teniendo en cuenta que el bloque de adobe cuadrado no debe sobrepasar los 0.40 m. de lado, por razones de peso y el adobe rectangular debe tener un largo igual a dos veces su ancho. Finalmente, el elemento de tierra deberá de tener una altura de entre 0.08 m y 0.12 m (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2017).

Tabla 1

Propiedades de adobe

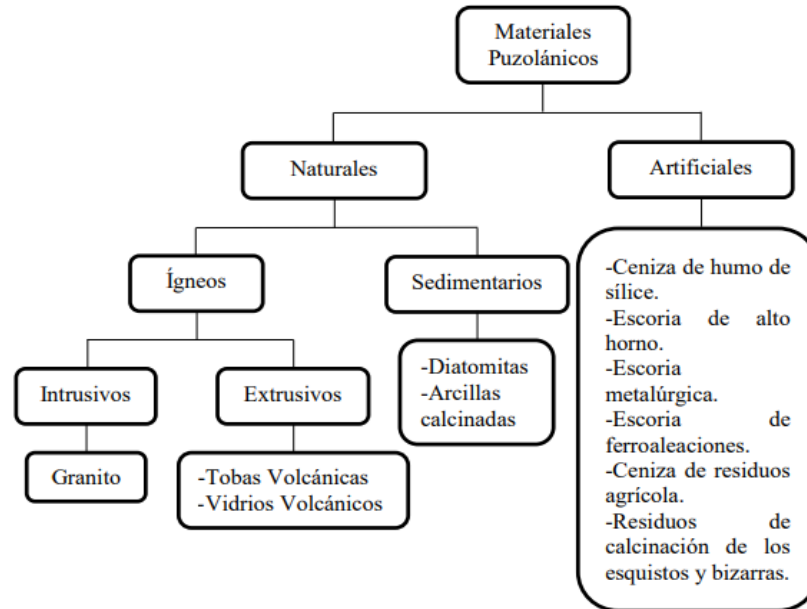
Propiedades del adobe

Aislante Térmico	Los elementos que componen el adobe hacen de éste un excelente aislante térmico, teniendo una conductividad térmica de 0,176 (W/mK), como resultado, las viviendas construidas con este material suelen tener un clima fresco en épocas de verano y tienden a ser cálidas en invierno logrando de esta manera un clima confortable en su interior (ABURTO MELENDEZ & BRAVO RODRIGUEZ, 2018)
Aislante acústico.	Una vivienda construida a base de adobe posee la característica de ser más silencioso y agradable en comparación con otros componentes de construcción tradicionales, esto sucede debido a que los adobes al tener superficies regularmente rugosas tienden a disminuir el ruido y reducen en gran medida las vibraciones producidas por el sonido (ABURTO MELENDEZ & BRAVO RODRIGUEZ, 2018)
Resistencia estructural del material	Una edificación de adobe construida en base a los parámetros que se establecen en la normativa, con un adecuado control de mano de obra y un constante mantenimiento, puede superar fácilmente los 100 años de vida útil (ABURTO MELENDEZ & BRAVO RODRIGUEZ, 2018).
Material ignífugo	Por su composición, la tierra con la cual se fabrican los adobes tiene un alto grado de estabilidad y alta resistencia a efectos del fuego, siendo muy superior a otros materiales como por ejemplo al ladrillo o al acero
Material económico	El adobe al ser un recurso natural y en la gran mayoría de lugares donde se fabrican se hace uso del mismo suelo in situ, su producción conlleva a bajos costos de adquisición, transporte y construcción.

El *Bagazo de Caña de Azúcar* es el resultado de someter a la caña de azúcar a esfuerzos de compresión, este elemento resultante también puede emplearse como un refuerzo, debido a sus propiedades puzolanicas ya sea en el concreto u otros elementos constructivos que se puedan dosificar dando así mucha durabilidad frente a los esfuerzos de compresión. (ADRIAN ESTRADA & BARTOLO PAREDES, 2021). Se considera materiales con propiedades *puzolanicas* a los elementos inorgánicos, provenientes por la naturaleza o los cuales fueron creados por el ser humano, estos componentes se encuentran aptos para adicionarse directamente con cal o la procedente de la hidratación del cemento, en combinación de agua y temperatura ambiente, en la integración de compuestos parecidos a los originados en la hidratación de los elementos principales del cemento Portland (Ravines Azañero, 2016)

Figura 2

Materiales puzolánicos



Las *Propiedades puzolánicas de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA)* se basan de una gran diversidad de circunstancias como: la temperatura de calcinación, la dimensión de las partículas, composición química y la naturaleza cristalina. En la actualidad se evidencian distintos estudios que rectifican que la ceniza de bagazo de caña de azúcar tiene gran actividad puzolánica derivado de su alto contenido de sílice amorfa (humo) en este material. El uso de la ceniza de bagazo de caña como puzolana, es producto a su composición química SiO_2 , Al_2O_3 , y Fe_2O_3 que simbolizan más o menos el 70% de su totalidad variando según el tipo de suelo, la edad de la planta de caña de azúcar y la cantidad de fertilizantes empleados (ABURTO MELENDEZ & BRAVO RODRIGUEZ, 2018).

Tabla 2

Ensayos en laboratorio para determinar las propiedades del suelo

Ensayos en laboratorio para determinar las propiedades del suelo	
Contenido de Humedad MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127	La norma MTC E 108 – 2016 establece que el contenido de humedad de un suelo es la relación que se expresa como porcentaje, del peso del líquido que se encuentra en una porción de suelo al peso del suelo seco con la finalidad de determinar la cantidad de agua existente en el suelo. (El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)
Peso específico MTC E 113 / ASTM D854 / NTP 339.131	El peso específico (gravedad específica) es la característica generalmente usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados incluyendo concreto de cemento Pórtland, concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas y analizadas en base al volumen. (El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)
Límites de Consistencia o de Atterberg NTP E339.130 / MTC E111 / ASTM D4318	En el Manual de ensayo de materiales publicado por El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, se señala que para llevar a cabo este ensayo se determinará el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de acuerdo con el MTC E-110, teniendo por finalidad clasificar de manera correcta el material a utilizar (El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)
Ensayo de granulometría método de lavado. ASTM D421	El ensayo de granulometría se basa en identificar la distribución cuantitativa de los distintos tamaños de partículas de los suelos. La clasificación de las partículas mayores que 75 µm (retenido en el tamiz N° 200) se efectúa por tamizado, en tanto que la determinación de las partículas menores que 75 µm se realiza mediante un proceso de tamizado por lavado adecuado (Comisión de reglamentos técnicos comerciales, 1999)
Ensayo Proctor modificado MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141	Según lo estipulado en la NTP 339.141, 1999, este experimento se aplica sólo para suelos que tienen 30% o menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 3/4" (19,0 mm). Para llevar a cabo este ensayo existen 3 métodos los cuales son: A, B y C los cuales se utilizan en base a determinadas características del suelo. (Comisión de reglamentos técnicos comerciales, 1999)

El ensayo de resistencia a la compresión tiene gran impacto en el desarrollo de materiales de albañilería, puesto que la resistencia a la compresión es una de las principales características que demuestran la calidad de los elementos constructivos a utilizar, como

también a los efectos de la intemperie o cualquier agente externo que cause su deterioro. (Araujo Bautista, 2019).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la resistencia a la compresión de adobe compactado con adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar al 5%, 10% y 15%, Cajamarca?

1.3. Objetivos

Determinar la resistencia a la compresión de adobe compactado con adición de ceniza de bagazo de caña al 5%, 10% y 15%.

Objetivos específicos.

- Elaborar los BTC en base a la normativa E.080 con distintos porcentajes de aditivo de CBCA
- Determinar las propiedades químicas de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.
- Determinar la resistencia a la compresión del bloque de tierra compactado, sin adición de CBCA.
- Determinar la resistencia a la compresión del bloque de tierra compactado, con adición de 5% de CBCA.
- Determinar la resistencia a la compresión del bloque de tierra compactado, con adición de 10% de CBCA.
- Determinar la resistencia a la compresión del bloque de tierra compactado, con adición de 15% de CBCA.
- Contrastar los resultados 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, mediante la utilización de software Microsoft Excel.

1.4. Hipótesis

Después de la revisión de distintos antecedentes, podemos plantear la siguiente hipótesis: La adición 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.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Es un trabajo de 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 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, también se identificaron las probetas con mejor resistencia a la compresión obteniendo el % de adición de CBCA óptimo. 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.

Población y muestra

La presente tesis, tuvo una población conformada por 24 unidades de BTC con dimensiones de: 30x15x10 cm, estas medidas se obtuvieron en la máquina CINVA RAM, la cual se encuentra en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte- Sede Cajamarca, Los bloques de adobe que se realizaron en esta investigación están conformados por suelo extraído de un lote ubicado en la Urbanización de Vivienda La Molina, agua y Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA) proveniente del Distrito de Magdalena. Asimismo, La Norma E.080 (2017), menciona que se deben ensayar un mínimo de 6 bloques para el ensayo de resistencia a la compresión, por lo que requeriremos cubos de 10x10x10cm. Para ello, los adobes obtenidos de la máquina CINVA RAM con medidas de 30x15x10 cm fueron adaptados de tal manera que obtuvimos cubos de 0.1m de arista.

De la calicata fue posible extraer 250kg de material, teniendo en cuenta las dificultades de extracción y, además, que por cada adobe empleamos 9kg de tierra, seguimos el *criterio establecido por la 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 muestras adobes con 5% de adición de CBCA, 6 muestras adobes con 10% de adición de CBCA y 6 muestras adobes con 15% de adición de CBCA. Haciendo un total de población y muestra de 24 bloques de tierra compactada.

Tabla 3

Muestra para ensayo a compresión

Cantidad	Tipo de adobe
6	Adobe compactado Tipo Patrón
6	Adobe compactado con 5% de CBCA
6	Adobe compactado con 10% de CBCA
6	Adobe compactado con 15% de CBCA

La razón por el cual se usó la CBCA se debe a que, es un material puzolánico, puesto que, contiene un alto índice de sílice (SiO₂) y alúmina (Al₂O₃), componentes principales del cemento portland que brindan mayor resistencia a la compresión del concreto, por ello se emplea en la elaboración de dichos adobes con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas de resistencia a la compresión. *Los factores de inclusión* con respecto a las muestras y porcentajes elegidos para el desarrollo de esta investigación se determinaron en base a los antecedentes encontrados, puesto que, en la mayoría de los estudios realizados, las características físicas del adobe mejoraron con la adición de hasta el 15% de CBCA, por otra parte, *el factor de exclusión de muestras con mayor porcentaje de CBCA* se debió a que, según los antecedentes bibliográficos revisados a mayor

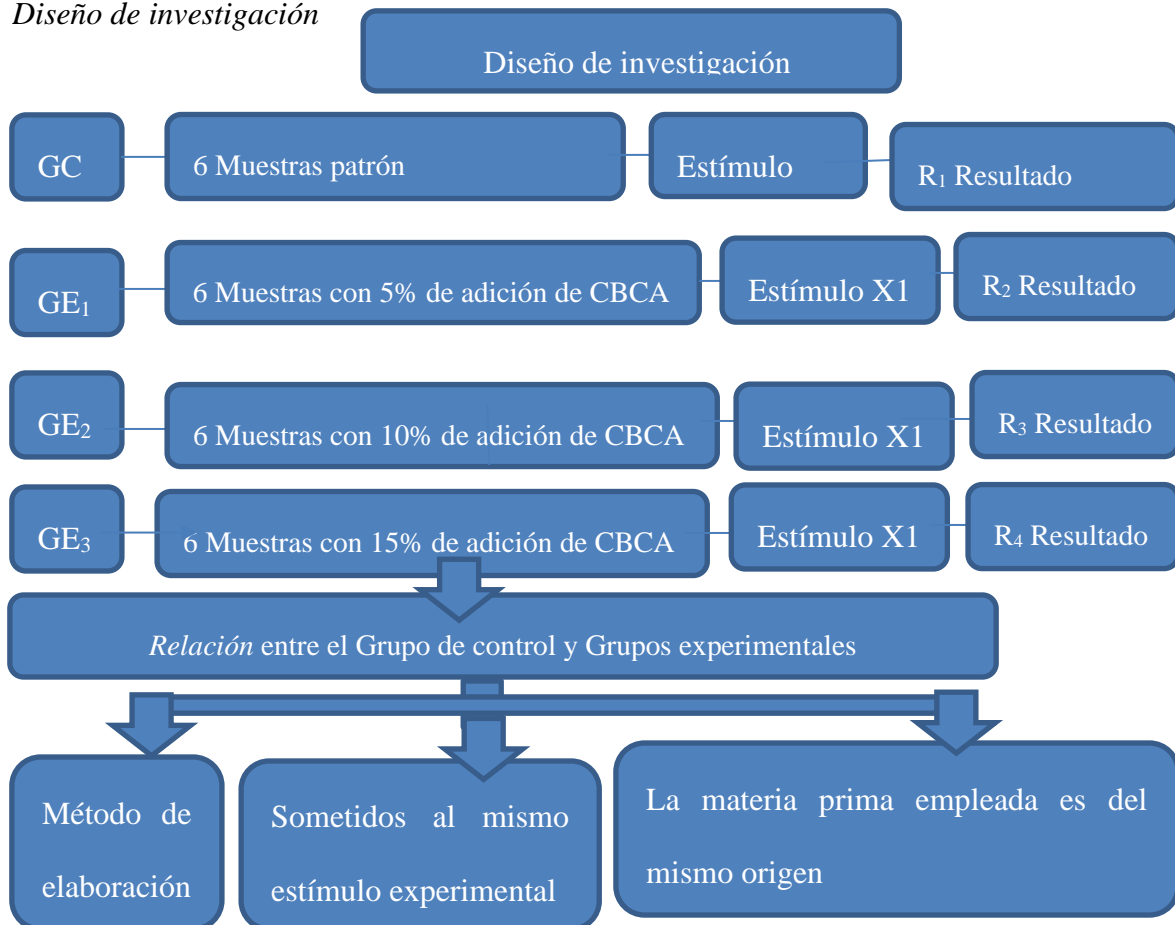
porcentaje de sustitución de tierra por CBCA, se producirán un mayor deterioro en los adobes con lo que respecta a sus propiedades mecánicas.

Técnicas, materiales y equipos

A continuación, se presenta *el esquema de diseño de investigación* donde se identificará la relación entre los grupos experimentales, el grupo de control, estímulos y observaciones.

Figura 3

Diseño de investigación



GC₁: Grupo control, los cuales serán las 6 muestras patrón.

GE₁: Grupo experimental 1, 6 Muestras con 5% de adición de CBCA

GE₂: Grupo experimental 2, 6 Muestras con 10% de adición de CBCA.

GE₃: Grupo experimental 3, 6 Muestras con 15% de adición de CBCA.

Estímulo X₁: Someter a las muestras a esfuerzos de compresión

6 muestras patrón, 6 Muestras con 5% de adición de CBCA, 6 Muestras con 10% de adición de CBCA, 6 Muestras con 15% de adición de CBCA, se sometieron a *estímulos* de fuerzas de compresión, donde las cargas aumentaban cada 500kg hasta alcanzar la ruptura de cada espécimen. *La confiabilidad de los resultados* está basada en la correcta calibración y buen manejo por parte del personal de laboratorio de la prensa hidráulica de compresión. Finalmente, registramos los resultados obtenidos y los analizamos con ayuda del software Excel con ello, realizamos comparaciones estadísticas entre el Grupo control vs Grupos Experimentales para corroborar cual es la muestra de estudio más eficiente vs esfuerzos de compresión.

El presente estudio se llevó a cabo en los laboratorios de concreto y de suelos de la Universidad Privada del Norte sede Cajamarca mediante la metodología de observación directa para la recolección de datos, aplicando las guías establecidas por la Normativa Técnica Peruana para el desarrollo de los ensayos con el fin de identificar las características de los materiales a utilizar, siendo esta una **prueba de calidad**, puesto que, sometimos a la materia prima recolectada a distintos experimentos en laboratorio para corroborar si cumple con lo estipulado en la Norma E0.80, para la recopilación de los datos obtenidos a partir de los ensayos y pruebas realizadas, fueron requeridos el uso de los protocolos brindados por la UPN – Cajamarca. Para el posterior análisis de los resultados se empleó el software Microsoft Excel, dicho trabajo en gabinete tuvo la finalidad de ordenar los datos de laboratorio, procesarlos mediante hojas de cálculo y examinarlos por

medio de gráficos y tablas, acto seguido, como **evidencia de validez** y de **confiabilidad de los procesos** llevados a cabo en los laboratorios y de los resultados obtenidos y analizados en gabinete se presentaron los protocolos con la información recolectada y examinada los cuales fueron verificados y validados por el técnico laboratorista, por el personal a cargo de los laboratorios de suelo y concreto y por el asesor.

Los materiales empleados para realizar este trabajo de investigación fueron:

Materia prima - Tierra

La tierra se extrajo de un terreno ubicado en La Urbanización de Vivienda La Molina, para proceder con la sustracción de la materia prima se delimitó un área de 1m², con la finalidad de realizar una calicata con ayuda de una excavadora, dicha calicata tuvo una profundidad de dos metros, de la cual se sacaron 250 kg de tierra. Para identificar si la tierra era utilizable para la elaboración de los adobes se realizaron ensayos in situ, según lo estipulado por la Norma E080.

Figura 4

Lote de donde se extrajo la tierra



Ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA)

Las CBCA se emplea como combustible para calentar las calderas industriales de donde se obtiene el azúcar, dicho esto, extrajimos la ceniza de la provincia de Magdalena, ciudad conocida por su excelente producción de caña de azúcar. Los pobladores utilizan el bagazo de la caña de azúcar como material inflamable con la finalidad de alimentar las calderas en las cuales se producen distintos licores, de este proceso, obtuvimos aproximadamente 25kg de ceniza de bagazo de caña de azúcar, la cual almacenamos en 5 sacos.

Figura 5

Ubicación - obtención de la Ceniza de bagazo de caña de azúcar



Por otro lado, una vez conseguida la materia prima y la CBCA, se llevaron a cabo 5 ensayos en el laboratorio de suelos, con la finalidad de corroborar la calidad de los materiales a utilizar, cada ensayo requirió de los siguientes equipos:

Equipo requerido para ensayo de Contenido de humedad (según la NTP 339.127, 1999)

- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Estufa con control de temperaturas.
- Recipiente o Tara.

Equipo requerido para ensayo de Peso específico MTC E 113 / ASTM D854 / NTP

339.131

- Balanza con aproximación de 0.01 gr
- Fiola de 500 ml

Equipo requerido para ensayo de Límites de Atterberg o límites de consistencia (según la norma técnica peruana NTP 339.129, 1999)

Para Límite Líquido

- Malla N^a 40
- Copa de Casagrande
- Ranurador o acanalador
- Balanza con aproximación de 0.01 gr
- Estufa con control de temperatura
- Espátula
- Probeta de 100 ml
- Cápsula de porcelana
- Taras identificadas

Para Límite Plástico

- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Estufa
- Espátula
- Cápsula de porcelana
- Placa de vidrio
- Taras identificadas

Equipo requerido para ensayo de Análisis granulométrico (NTP 400.012, 2001)

- Balanza
- Juego de mallas
- Balanza con aproximación de 0.1 gr

- Taras

Equipo requerido para ensayo de Proctor modificado (Según NTP 339-141, 1999)

- Equipo proctor modificado (molde cilíndrico, placa de base y anillo de extensión).
- Pisón proctor modificado
- Balanza con aproximación de 0.01 gr
- Estufa con control de temperatura
- Probeta de 1000 ml
- Recipiente de 6 kg, de capacidad
- Espátula
- Recipientes identificados

Equipo requerido para ensayo de compresión - NTP 339.034

Para el ensayo de compresión de adobes, el cual determinará la calidad de los BTC elaborados, se necesitaron de los siguientes equipos:

- Máquina CINVA RAM.

La máquina CINVA RAM (La máquina fue desarrollada por el ingeniero Raúl Ramírez (RAM) del CINVA-Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento dentro del Proyecto 22 de la OEA). Este instrumento permite realizar la compactación en una unidad de adobe, debido que a medida en que se va comprimiendo la mezcla se incrementa la presión sobre ésta logrando una productividad de unos 40 a 60 bloques de adobe compactado por hora (Chavez Atalaya & Alva Sarmiento, 2020)

- Prensa de compresión hidráulica.

La prensa de compresión hidráulica se ha diseñado para llevar a cabo la prueba de resistencia a la compresión de los contenedores, cubos de hormigón y bloques de cilindros y otros materiales de acuerdo con el estándar internacional. (ORION RCP LABORATORIOS, s.f.)

La validez del ensayo de compresión será confirmada mediante la elaboración del ensayo de compresión según el NTP. La confiabilidad de los datos obtenidos se determinará en base a la correcta calibración de la prensa hidráulica de compresión por parte del técnico laboratorista de y la calidad de los materiales resultantes.

Instrumentos de recolección y análisis de datos.

En el 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.

Análisis químico de la Ceniza de Bagazo de caña de azúcar.

Son materiales con propiedades puzolanas cuya composición química de los tres principales óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) sea mayor del 70%.

Tabla 4

Composición química inorgánica de las cenizas de bagazo de caña de azúcar (CBCA) expresada como óxidos método Espectroscopia de energía dispersiva (EDS)*

Composición química	%	Método utilizado
Dióxido de Silicio (SiO_2)	64.04	Espectroscopia de energía dispersiva (EDS)*
Trióxido de Aluminio (Al_2O_3)	11.89	
Trióxido de Hierro (Fe_2O_3)	7.61	
Óxido de Calcio (CaO)	4.65	
Óxido de Magnesio (MgO)	4.01	
Óxido de Potasio (K_2O)	6.16	

Nota. Fuente: Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión del concreto, 2018

SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 : 83.540%

Tabla 5

Composición química de ceniza de bagazo de caña de azúcar método de FLUORESCENCIA RAYOS X

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	

Nota. Fuente: 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, 2021

SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃: 50.687%

Tabla 6

Características físicas y químicas de las cenizas y el cemento por método de Difracción de Rayos X (DRX)

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	

Nota. Fuente: Ceniza de bagazo de caña para elaboración de materiales de construcción: estudio preliminar, 2014

SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃: 80.334%

En las tablas 4 y 6 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.

En la presente investigación, el análisis químico de la ceniza utilizada presentó los siguientes resultados químicos, dicho análisis se llevó a cabo en el laboratorio de la empresa GRUPO VICAF SAC, el método empleado fue el de calcinación:

Tabla 7

Composición química de ceniza de bagazo de caña de azúcar método de calcinación

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	

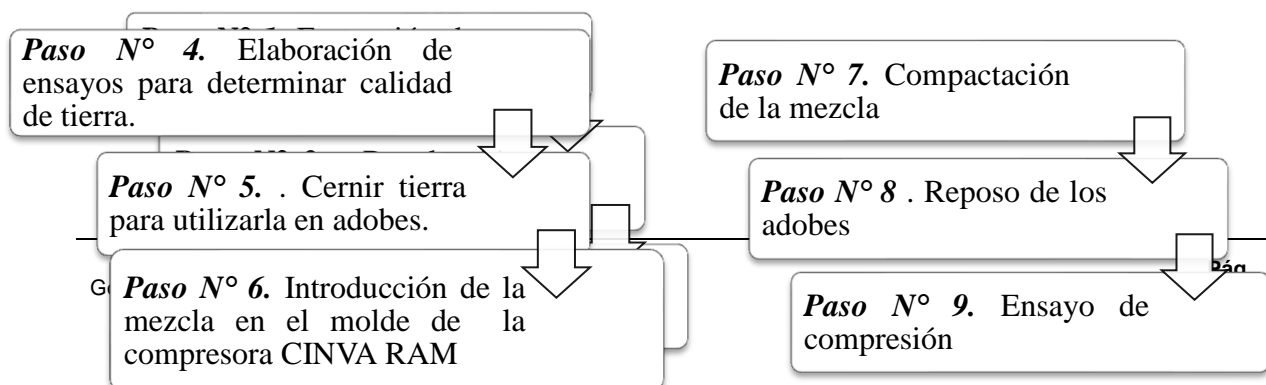
SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃:60.8 %

Procedimiento de elaboración de adobes – Ensayos para recolección de datos

Para cumplir con los objetivos trazados en la presente investigación, fue necesario definir un procedimiento para la elaboración de los adobes dicho procedimiento se basó en la Norma E.080 y en los antecedentes indagados, la metodología se resume en el siguiente flujograma:

Figura 6

Procesos realizados para la elaboración de adobes



A continuación, se explica y detalla cada uno de los pasos que se ha seguido para la realización de los bloques de tierra compactado con distintos porcentajes de aditivo de CBCA

Primer paso: Extracción de tierra:

Para la recolección de la tierra, se realizó una calicata, para ello se delimitó con cal el perímetro el cual fue de 1m² de área y tuvo 2m de profundidad, para realizar esta acción fue necesario el requerimiento de una excavadora.

Figura 7

Extracción de tierra



Una vez extraída la tierra de la calicata, realizamos dos pruebas in situ, la primera evaluación fue "Cinta de Barro" y la segunda fue "Presencia de arcilla", con el objetivo de determinar si la tierra presenta contenido de arcilla. Dichos ensayos se estipulan en la Norma E.080

Figura 9



Figura 8

Prueba para identificar la presencia de arcilla



Prueba denominada "Cinta de Barro"

Una vez corroborado que la materia prima tenga presencia de arcilla y sea adecuada para la elaboración de adobes, procedemos a la recolección de la tierra.

Segundo paso: Recolección de Tierra

Se procedió a recolectar en costales con ayuda de una palana para finalmente, trasladar las muestras tomadas hacia los laboratorios de la Universidad Privada del Norte, con el propósito de identificar las características del suelo mediante los ensayos correspondientes de contenido de humedad, peso específico, análisis granulométrico, límites de Atterberg y proctor modificado para poder realizar la clasificación correcta del suelo y así determinar si la tierra extraída es recomendable para llevar a cabo elaboración de las unidades de adobe.

Figura 10

Recolección de materia prima



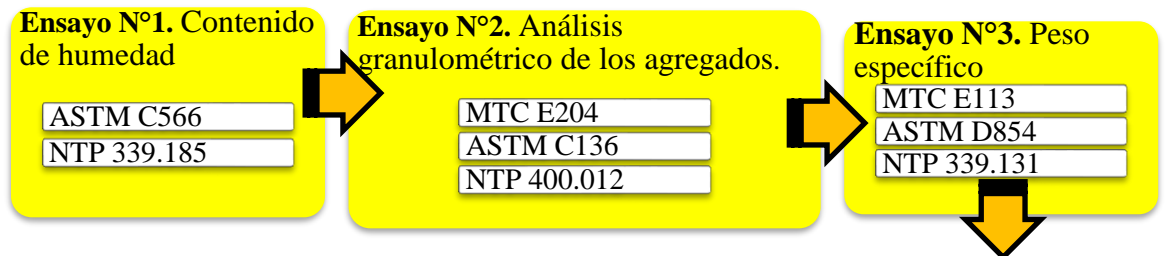
Tercer paso: Recolección y transporte de la Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar

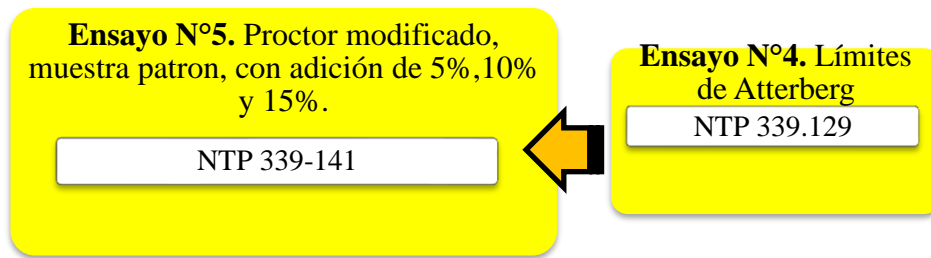
Nos dirigimos hasta la ciudad de Magdalena, en donde recolectamos la ceniza de bagazo de caña de azúcar de un horno, el cual se utiliza para la preparación de diversos alcoholes. Recolectamos 5 sacos de ceniza de bagazo de caña de azúcar, lo suma en su totalidad unos 25kg aproximadamente de material aditivo y la transportamos hacia la ciudad de Cajamarca para posteriormente emplearla en la elaboración de los adobes y en los ensayos de proctor modificado.

Cuarto paso: Elaboración de ensayos para determinar calidad de tierra

Figura 11

Ensayos realizados para identificar las características del suelo





A continuación, se detallan y explican los procedimientos realizados para llevar a cabo los ensayos requeridos

Contenido de humedad natural (NTP 339.127)

Este ensayo se desarrolló en base a la norma NTP 339.127, 1998 (Método de ensayo mediante el cual se determina el contenido de humedad de un suelo). Para la elaboración de este ensayo se consideraron 3 muestras y se siguieron los siguientes pasos: La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólida. Se determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}^*$.

Figura 12

Muestras de ensayo de contenido de humedad introducidas en el horno



Estos datos se procesaron mediante el empleo de protocolos con el fin de hallar el porcentaje promedio del contenido de humedad del suelo, para el cálculo de contenido de humedad se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 1. Contenido de humedad

$$\%H = \frac{W_w - W_s}{W_s}$$

Donde:

%H = Contenido total de humedad total evaporable de la muestra en porcentaje.

W_w = Masa de la muestra húmeda original en gramos.

W_s = Masa de la muestra seca en gramos.

Límites de Atterberg o límites de consistencia (según la norma técnica peruana NTP 339.129, 1999)

Pueden definirse como los límites de los contenidos de humedad que caracterizan los cuatro estados de consistencia de un suelo de grano fino: estado sólido, estado semisólido, estado plástico y estado semilíquido o viscoso.

El límite entre los estados sólido y semisólido se denomina límite de retracción, el límite entre los estados semisólido y plástico se llama límite plástico y el límite entre los estados plástico y semilíquido, límite líquido. (GEOTECNIA FÁCIL, 2019). Para Este ensayo nos basamos en la norma NTP 339.129, 1999 (Método de ensayo mediante el cual se halla el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos).

El primer paso seguido para el desarrollo de este ensayo de límite líquido se situó la muestra en un mortero de porcelana y se agregó agua en pocas cantidades, luego se mezcló hasta obtener una consistencia apropiada (no muy seca, no muy húmeda), dicha muestra se coloca en la copa de Casagrande y se realizó una ranura en medio de la muestra con la espátula de metal, después comenzamos a mover la manija a razón de dos golpes por segundo, tomando como dato la cantidad de golpes necesarios para que la ranura se una en el punto medio, este proceso se llevó a cabo tres veces

Figura 13

Realización de ranura en medio de muestra



Como último paso, se introdujeron tres muestras dentro del horno durante 24 horas, cada muestra en una tara. Una vez que se sacaron las muestras del horno se procedió a pesarlas y a tomar los datos para procesarlos, con los cuales se obtuvo el límite del suelo.

En el ensayo de límite plástico, se elaboraron rollitos en forma cilíndrica sobre una lámina de vidrio, para posteriormente colocar porciones de dichos rollitos en taras, las pesamos e introducimos al horno durante 24 horas. Una vez pasado ese tiempo, se pesa el material extraído del horno y se vuelven a pesar, con la finalidad de hallar el límite plástico del material.

Figura 14

Elaboración de cilindros sobre lámina de vidrio.



Obtenidos los datos de **LL** y **LP**, aplicamos la siguiente ecuación para calcular el índice de plasticidad

Ecuación 2. Índice de plasticidad

$$IP = LL - LP$$

En donde:

IP = Índice de plasticidad

LL = Límite líquido

LP = Límite plástico

Dicho proceso se repitió con muestras con 5%,10% y 15% de adición de CBCA.

Ensayos de análisis granulométrico (NTP 400.012, 2001)

El ensayo consiste en dividir y separar el material mediante una serie de tamices en varias fracciones granulométricas de tamaño decreciente. El método consiste en un lavado del árido

Figura 15

Muestra lavada para ensayo de granulometría



Posteriormente se procedió a pasar la muestra seca a través del juego de tamices, agitando estos de forma manual.

Figura 16

Cerniendo la muestra para ensayo de granulometría



Luego se determina los porcentajes de los pesos que quedaron retenidos en cada uno de los tamices (%RP), los porcentajes de los pesos retenidos en cada tamiz (%R.P.) mediante la siguiente expresión.

Ecuación 3. Porcentajes de pesos retenidos.

$$\%R.P. = \frac{P.R.P}{Wms} * 100$$

Determinar los porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz P. RA, para lo cual se sumarán en forma progresiva los P.R.P., es decir.

$$\%R.A.1 = \%R.A.1$$

$$\%R.A.2 = \%R.A.1 + \%R.A.2$$

$$\%R.A.3 = \%R.A.1 + \%R.A.2 + \%R.A.3, \text{ Etc.}$$

Determinar los porcentajes acumulados que pasan en cada tamiz.

Ecuación 4. Porcentaje que pasa en cada matriz

$$\% \text{ que pasa} = 100\% - \%R.A$$

Peso específico MTC E 113 / ASTM D854 / NTP 339.131

Procedimiento

- Identificación de los especímenes (A).
- Pesar la muestra seca (aproximadamente 80 a 100 gr) (B).
- A continuación, procedimos a llenar la fiola con agua hasta la marca de 500 ml y pesar (C).
- Introducimos la muestra seca ya pesada en la fiola vacía y, vaciamos el agua hasta cubrir la muestra, agitar, luego movemos la fiola de manera ascendente y descendente durante 15 minutos de tal manera que las burbujas de aire sean extraídas (D)

Figura 17

Fiola con agua y material para identificar el peso específico de la tierra



- Retirar la fiola de la bomba de vacíos, inmediatamente agregar agua hasta la marca de 500 ml y pesar (E).

- Determinar el peso específico (F)

Ecuación 5. Peso específico

$$Y_s = \frac{W_s(B)}{W_s(D) + W_f w(C) - W_f w_s(E)}$$

- Determinar el peso específico promedio (G)

Proctor modificado (Según NTP 339-141, 1999)

Para este ensayo nos basamos en la norma NTP 339-141, 1999 (Método de ensayo para la compactación del suelo mediante la utilización de una energía modificada. (Lozano Rojas, 2018). Primeramente, transportamos nuestro material al laboratorio de suelos de la Universidad Privada del Norte. Luego, cernimos nuestro material por la malla N°4.

Teniendo en cuenta de que requeriremos preparar 4 muestras y para cada una será necesario 2.5 kg de tierra con los siguientes porcentajes de agua 5%, 7%, 9% y 11%.

Figura 18

Cerniendo tierra por la malla N°4 para realizar ensayo de proctor



Procedemos a compactar cada muestra en 5 capas, para ello serán necesarios 25 golpes por capa.

Figura 19

Compactación por capas de la muestra de tierra utilizada en este ensayo



Finalizado este proceso, se retira el collar de extensión, se enrasa con la espátula y se determina la densidad húmeda (Dh). Acto seguido, pesamos la muestra compactada,

después metemos cierta cantidad en taras y las introducimos al horno, luego de 24 horas retiramos las taras y volvemos a pesarlas con el objetivo de calcular la densidad seca (Ds).

El valor de Ds se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 6. Densidad seca.

$$Ds = \frac{Dh}{\left(1 + \frac{W\%}{100}\right)}$$

Donde:

- (W %): Contenido de humedad de cada muestra compactada.
- (Dh): densidad húmeda

Repetimos este ensayo 3 veces más, con los porcentajes adicionales de 5%, 10% y 15% de CBCA.

Quinto paso: Cernir tierra para utilizarla en adobes.

Una vez culminados los ensayos precios, se procederá a cernir la tierra que se empleará en la elaboración de los adobes, primeramente, la cernimos por la malla de 3/8 con el objetivo de eliminar impurezas. Para este proceso, pusimos la malla de 3/8 sobre una carretilla y pasamos la materia prima, cernimos con movimientos laterales y horizontales hasta eliminar la mayoría de las impurezas.

Figura 20

Cernir material para elaboración de adobes



Después, sometimos a la tierra a un proceso de hidratación sostenida durante 48hrs, este proceso adopta el nombre de “dejar dormir o fermentar al barro” En caso de la muestra patrón, mezclamos el agua junto con la materia prima hasta obtener una mezcla homogénea. Para la elaboración de los adobes de 5%, 10% y 15% procedimos en agregar ceniza en las siguientes cantidades: 2.7kg, 5.4kg y 8.1kg respectivamente, en lo que respecta a la cantidad de líquido adicionado por cada 6 adobes muestra patrón se necesitaron: 7536ml, para las otras muestras fueron necesarios 9838.8ml, 8694ml y 98832ml de agua correspondientes a los adobes con 5%,10% y 15%.

Figura 21

Elaboración de barro, mediante la mezcla de todos los materiales



Sexto paso: Introducción de la mezcla en la compresora CINVA RAM

Una vez ya teniendo lista la mezcla de barro y habiendo reposado entre 24 a 48 horas, se procede a introducirla por capas, evitando espacios vacíos en el molde de la máquina CINVA RAM.

Figura 22

Introducimos el barro en el molde de la compresora de la máquina CINVA RAM



Séptimo paso: Compactación de la mezcla

Introducida la mezcla en el molde, acto seguido se colocó la tapa y se procedió a compactarla con ayuda de una varilla la cual sirve como palanca. Se procede hacer presión hacia abajo hasta lograr que el material se compacte

Figura 23

Realizamos la compactación de la mezcla hasta obtener el adobe



Octavo paso: Reposo de los adobes

Obtenidos los adobes compactados, se colocaron en un lugar protegidos del viento y del sol para evitar rajaduras.

Figura 24

Colocación de los adobes en un lugar protegido del viento y del sol



Se ordenaron los adobes en fila, según su porcentaje de CBCA. Se dejaron reposar durante 28 días.

Noveno paso: Ensayo de compresión.

Este ensayo se basó en la Norma Técnica Peruana (NTP. 399.613, 2003) Las muestras se ensayaron utilizando la prensa hidráulica de compresión la cual se encuentra en el laboratorio de Concreto de la Universidad Privada del Norte - Sede Cajamarca. (Lozano Rojas, 2018)

La cantidad de especímenes que se ensayaron fue:

- 6 adobes con 0% de CBCA con aristas de 0.1m
- 6 adobes con 5% de CBCA con aristas de 0.1m
- 6 adobes con 10% CBCA con aristas de 0.1m
- 6 adobes con 15% de CBCA con aristas de 0.1m

Para ello, primeramente, se tomaron las medidas del área de los bloques de adobe, acto seguido se procedió a comprimir cada BTC

Figura 25

Ensayo de compresión de los adobes elaborados



Una vez obtenida el área de la unidad de albañilería y haberla sometido a esfuerzos de compresión hasta su ruptura, se analizaron los datos y aplicaron las siguientes formulas.

Ecuación 7. Resistencia a la compresión

$$F_b = P_m A_b \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Dónde:

- F_b = Resistencia a la compresión de la unidad de albañilería (Kg/cm²).
- P_m = Carga máxima de rotura (kg)
- A_b = Área bruta de la unidad de albañilería (cm²).

Calculada la resistencia a la compresión de todos los especímenes ensayados, se procedió a calcular la resistencia a la compresión característica de cada grupo experimental mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 8. Resistencia a la compresión característica.

$$f'_b = f_b - \sigma \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Dónde:

- f^b = Resistencia característica a la compresión de la unidad de albañilería (Kg/cm²)
- f_b = Resistencia a la compresión de la unidad de albañilería (Kg/cm²).
- σ = Desviación estándar

Análisis de datos

Para el análisis y procesamiento de datos, se utilizó el programa Microsoft Excel 2016. Para hacer el correcto estudio de la información recopilada se examinaron los datos finales obtenidos en la prensa hidráulica de compresión. Para este proceso se emplearon: fichas de recolección de datos realizando una comparativa entre la resistencia a la compresión de la muestra patrón junto con las demás muestras con adición de CBCA con porcentajes de 5%, 10% y 15%

La selección de datos se realizó por medio de la observación directa, debido a que la investigación es experimental, debemos visualizar cada prueba ensayada en laboratorio, recolectamos los valores obtenidos y contrastaremos con la hipótesis planteada, también nos apoyaremos en hojas de cálculo para elaborar cuadros y gráficos estadísticos para la correcta interpretación de los resultados. El *análisis de los datos* extraídos del ensayo de compresión se llevó a cabo mediante el uso del software Excel, en el cual realizamos *evaluaciones estadísticas* del Grupo control vs Grupos experimentales, para ello, los *parámetros* tomados en cuenta fueron: Máximo esfuerzos de compresión GC vs Máximo esfuerzos de compresión GE₁ vs Máximo esfuerzos de compresión GE₂ vs Máximo esfuerzos de compresión GE₃. Los datos recopilados del ensayo de resistencia a la compresión de los grupos experimentales y grupo control, *fueron sometidos a un análisis ANOVA y al cálculo de la DESVIACIÓN ESTÁNDAR de cada grupo ensayado*

Aspectos éticos

La principal consideración ética en la que se desarrolló el trabajo fue la transparencia al momento de desarrollar los ensayos y al analizar los resultados obtenidos en gabinete, puesto que, se analizaron con la aplicación del software Excel, muestra de ello, los protocolos firmados y revisados por el personal de las instalaciones de los laboratorios y por el asesor de la presente tesis.

Validez

La validez se define como la representación, en el que un instrumento mide lo que se supone que debe medir. Para ello, los instrumentos ubicados en el laboratorio de Suelos y Concreto de la Universidad Privada del Norte, los cuales se emplearon para desarrollar los ensayos de laboratorio estuvieron correctamente calibrados.

Figura 26

Fechas de Calibración y mantenimiento de instrumento prensa hidráulica



Figura 27

Fechas de Calibración y mantenimiento de instrumento horno de secado

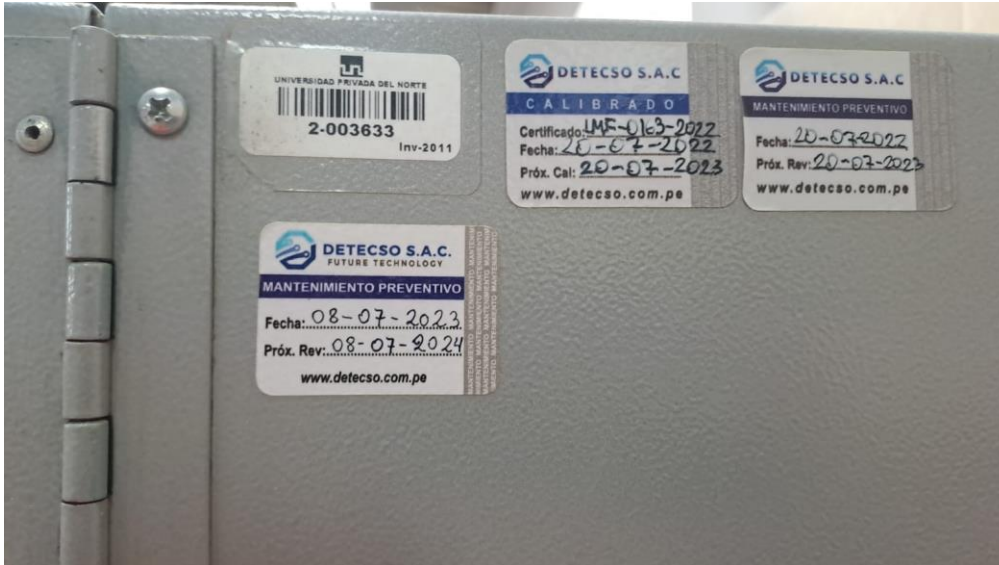
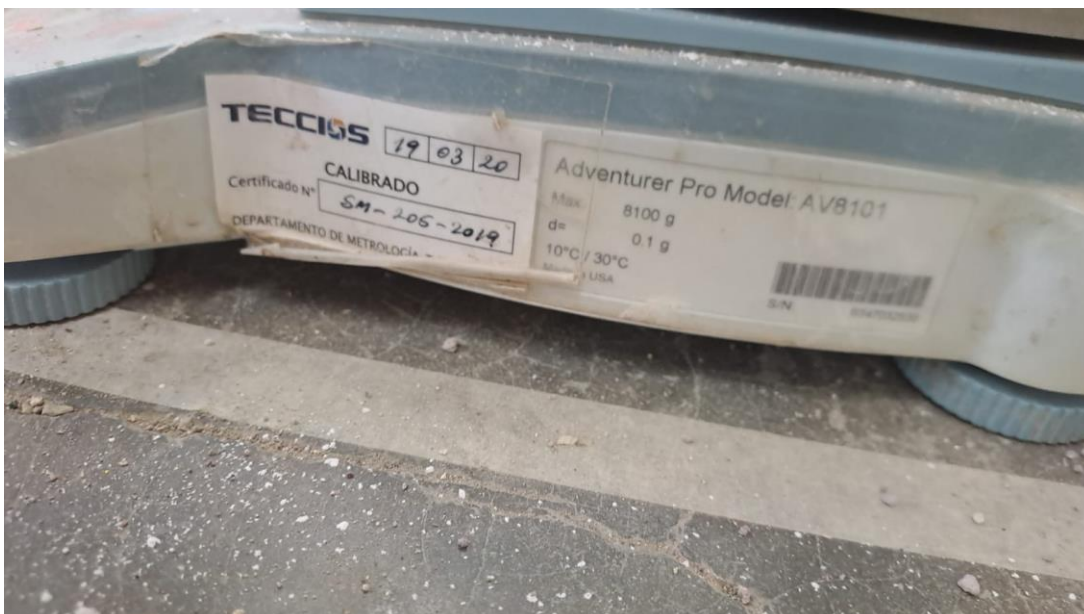


Figura 28

Fechas de Calibración y mantenimiento de instrumento Balanza Adventurer Pro Model AV8101



CAPÍTULO III: RESULTADOS

En este capítulo se expondrán los resultados obtenidos de los ensayos mediante un riguroso análisis presentado en cuadros, donde se explicará los datos obtenidos a partir de realizar los ensayos del suelo de los tipos de aditivos los efectos que genera, beneficios en la resistencia a compresión y a flexión y cuál de ellos son los más utilizados.

Ensayo de suelos en laboratorio: Se llevaron a cabo los siguientes ensayos en donde se obtuvieron los siguientes resultados, con el objetivo de elaborar los BTC en base a la normativa E.080 con distintos porcentajes de aditivo de CBCA, para ello, fue necesario identificar las características de la materia prima y verificar si cumple con los requerimientos estipulados en dicha normativa.

Contenido de humedad

Tabla 8

Resultados de ensayo de Contenido de humedad

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	Nº	J-1	J-2	J-3
B	Peso del Recipiente	gr	68.100	71.400	72.600
C	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	468.100	471.400	472.600
D	Recipiente + Suelo Seco	gr	406.900	411.900	413.200
E	Peso del suelo húmedo (Ww)	gr	400.000	400.000	400.000
F	Peso Suelo Seco (Ws)	gr	338.800	340.500	340.600
W%	Porcentaje de humedad	%	18.064	17.474	17.440
G	Promedio Porcentaje Humedad	%		17.659	

Peso específico

Tabla 9

Resultados de ensayo de Peso específico

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Identificación del recipiente o Tara	N°	J-3	J-1
B	Peso de la muestra seca	gr	100.000	100.000
C	Peso de Fiola + Agua (500ml)	cm ³	669.600	654.200
D	Peso de Fiola + Agua (500ml) - Aire	cm ³	726.500	710.500
E	Peso específico	gr/cm ³	2.320	2.288
F	Promedio del Peso Específico	gr/cm ³	2.304	

Límites de Consistencia o de Atterberg.

Determinación de Límite Líquido (LL)

Tabla 10

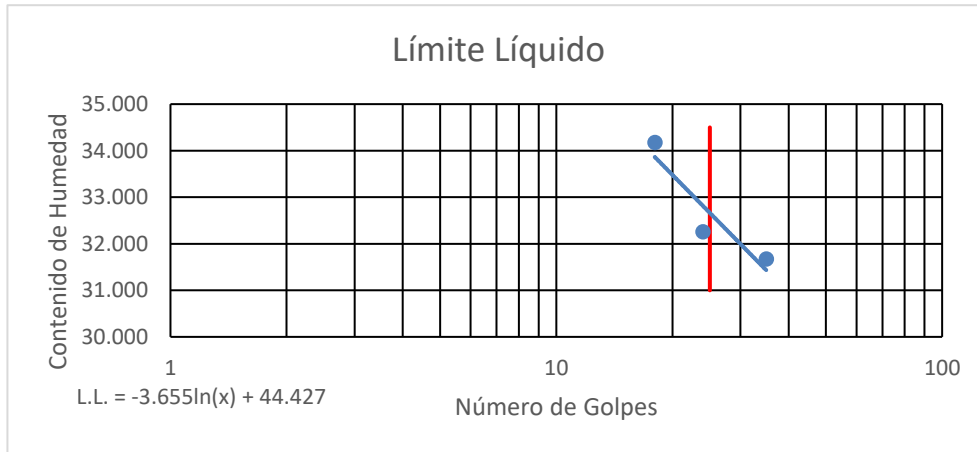
Resultados de ensayo de Límite Líquido (LL)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	N°	J-3	J-1	J-4
B	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	95.880	81.220	102.550
C	Recipiente + Suelo Seco	gr	89.950	78.020	98.160
D	Peso del Recipiente	gr	72.600	68.100	84.300
E	Peso del agua	gr	5.930	3.200	4.390
F	Peso suelo seco	gr	17.350	9.920	13.860
G	Número de Golpes	N	18	24	35
H	Contenido de Humedad	%	34.179	32.258	31.674

Promedio Contenido de Humedad: 32.704%

Figura 29

Gráfico de contenido de humedad vs Número de golpe



Obteniendo un L.L. de 32.662 %

Determinación de Límite Plástico (LP)

Tabla 11

Resultados de ensayo de Límite Plástico (LP)

		Limite Plástico				
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Identificación del recipiente o Tara	N°	J-5	J-6	J-7	J-8
B	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	33.200	31.900	34.800	34.700
C	Recipiente + Suelo Seco	gr	32.200	30.800	33.600	33.700
D	Peso del Recipiente	gr	27.300	25.700	27.600	28.500
E	Peso del agua	gr	1.000	1.100	1.200	1.000
F	Peso suelo seco	gr	4.900	5.100	6.000	5.200
G	Contenido de Humedad	N	20.408	21.569	20.000	19.231
H	Promedio Límite Plástico	%	20.302			

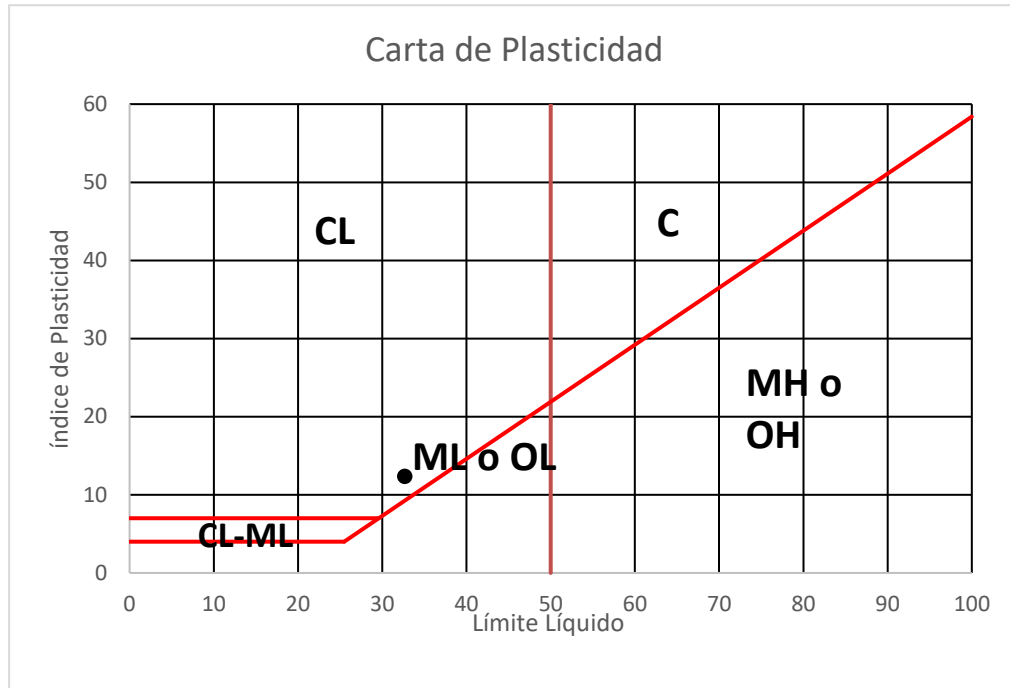
Clasificación de suelos mediante carta de plasticidad.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en laboratorio:

- Límite Plástico: 20.302%
- Índice de plasticidad: 12.360%
- Límite Líquido: 32.662 %

Figura 30

Gráfico de la carta de plasticidad – Índice de plasticidad vs Límite Líquido



Límites de Consistencia o de Atterberg con 5% de adición de CBCA

Determinación de Límite Líquido (LL) con 5% de adición de CBCA

Tabla 12

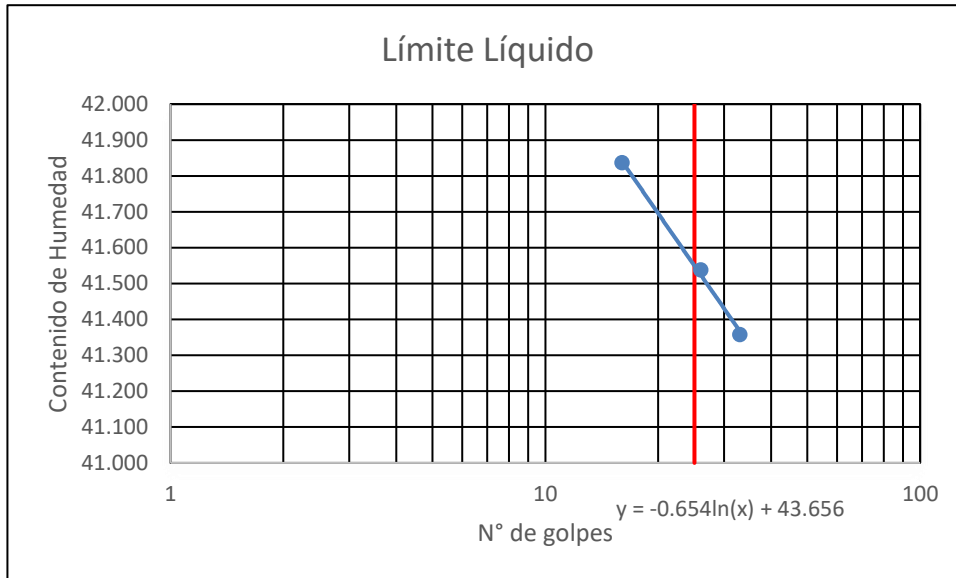
Resultados de ensayo de Límite Líquido (LL) con 5% de CBCA

Limite Liquido 5% CBCA					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	N°	J-S4	ST-2	ST-4
B	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	41.900	59.800	64.600
C	Recipiente + Suelo Seco	gr	37.800	54.400	57.900
D	Peso del Recipiente	gr	28.000	41.400	41.700
E	Peso del agua	gr	4.100	5.400	6.700
F	Peso suelo seco	gr	9.800	13.000	16.200
G	Número de Golpes	N	16	26	33
H	Contenido de Humedad	%	41.837	41.538	41.358

Promedio Contenido de Humedad: 41.578%

Figura 31

Gráfico de contenido de humedad vs Número de golpe con 5% de CBCA



Obteniendo un L.L. de 41.551 %

Determinación de Límite Plástico (LP) con 5% de CBCA

Tabla 13

Resultados de ensayo de Límite Plástico (LP) con 5% de CBCA

Limite Plástico						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Identificación del recipiente o Tara	N°	b14	b16	ST-5	ST-6
B	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	29.300	31.400	28.800	29.300
C	Recipiente + Suelo Seco	gr	28.500	30.700	28.100	28.600
D	Peso del Recipiente	gr	25.900	28.400	25.800	26.300
E	Peso del agua	gr	0.800	0.700	0.700	0.700
F	Peso suelo seco	gr	2.600	2.300	2.300	2.300
G	Contenido de Humedad	%	30.769	30.435	30.435	30.435
H	Promedio Límite Plástico	%	30.518			

Índice de plasticidad: 11.032%

Límites de Consistencia o de Atterberg con 10% de adición de CBCA

Determinación de Límite Líquido (LL) con 10% de adición de CBCA

Tabla 14

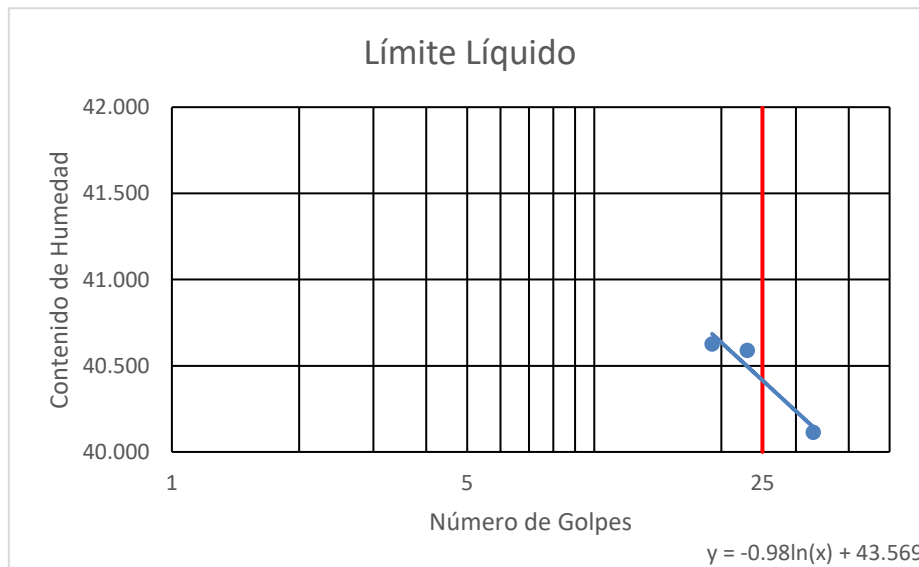
Resultados de ensayo de Límite Líquido (LL) con 10% de CBCA

Limite Liquido 10% CBCA					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	N°	b16	J-S4	ST-6
B	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	41.900	47.120	45.820
C	Recipiente + Suelo Seco	gr	38.000	41.600	40.100
D	Peso del Recipiente	gr	28.400	28.000	25.840
E	Peso del agua	gr	3.900	5.520	5.720
F	Peso suelo seco	gr	9.600	13.600	14.260
G	Número de Golpes	N	19	23	33
H	Contenido de Humedad	%	40.625	40.588	40.112

Promedio Contenido de Humedad: 40.442%

Figura 32

Gráfico de contenido de humedad vs Número de golpe con 10% de CBCA



Obteniendo un L.L. de 40.415 %

Determinación de Límite Plástico (LP) con 10% de CBCA

Tabla 15

Resultados de ensayo de Límite Plástico (LP) con 10% de CBCA

Limite Plástico						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Identificación del recipiente o Tara	N°	b14	ST-5	J-S1	M10-B
B	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	29.790	30.150	32.12	34.56
C	Recipiente + Suelo Seco	gr	28.860	29.100	31.11	33.15
D	Peso del Recipiente	gr	25.900	25.800	27.86	28.6
E	Peso del agua	gr	0.930	1.050	1.010	1.410
F	Peso suelo seco	gr	2.960	3.300	3.250	4.550
G	Contenido de Humedad	N	31.419	31.818	31.077	30.989
H	Promedio Límite Plástico	%	31.326			

Índice de plasticidad: 9.089%

Límites de Consistencia o de Atterberg con 15% de adición de CBCA

Determinación de Límite Líquido (LL) con 15% de adición de CBCA

Tabla 16

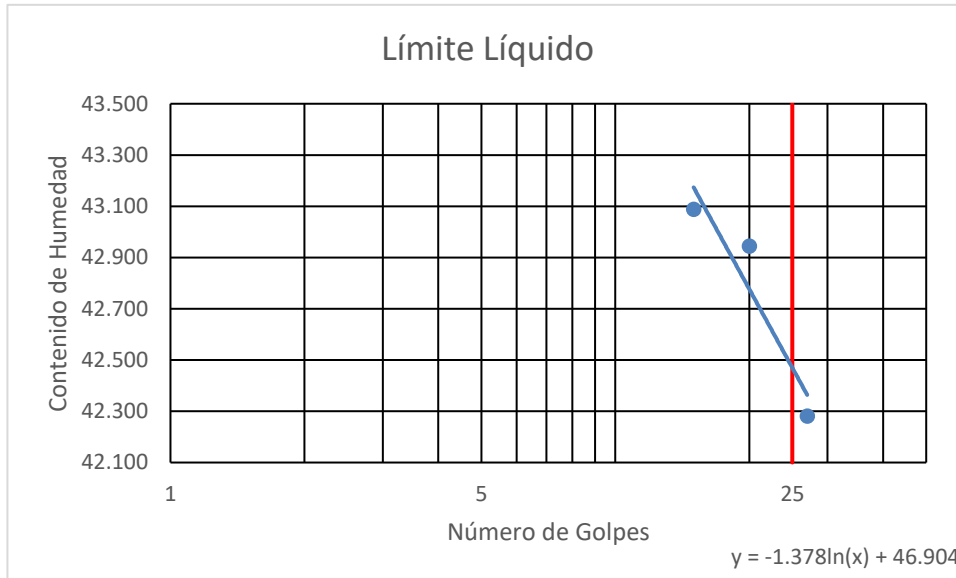
Resultados de ensayo de Límite Líquido (LL) con 15% de CBCA

Limite Liquido 15% CBCA					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	N°	ST-12	ST-11	ST-2
B	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	59.000	64.700	62.500
C	Recipiente + Suelo Seco	gr	53.670	57.700	56.200
D	Peso del Recipiente	gr	41.300	41.400	41.300
E	Peso del agua	gr	5.330	7.000	6.300
F	Peso suelo seco	gr	12.370	16.300	14.900
G	Número de Golpes	N	15	20	27
H	Contenido de Humedad	%	43.088	42.945	42.282

Promedio Contenido de Humedad: 42.772%

Figura 33

Gráfico de contenido de humedad vs Número de golpe con 15% de CBCA



Obteniendo un L.L. de 42.468 %

Determinación de Límite Plástico (LP) con 15% de CBCA

Tabla 17

Resultados de ensayo de Límite Plástico (LP) con 15..... % de CBCA

Limite Plástico						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	1	4
A	Identificación del recipiente o Tara	Nº	ST-3	ST-7	a11	b10
B	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	48.300	48.800	30.040	28.320
C	Recipiente + Suelo Seco	gr	46.900	47.200	29.540	27.810
D	Peso del Recipiente	gr	41.800	41.300	27.700	25.960
E	Peso del agua	gr	1.400	1.600	0.500	0.510
F	Peso suelo seco	gr	5.100	5.900	1.840	1.850
G	Contenido de Humedad	N	27.451	27.119	27.174	27.568
H	Promedio Límite Plástico	%	27.328			

Índice de plasticidad: 15.141%

Análisis granulométrico por lavado. Peso de muestra seca 378.73 gr

Tabla 18

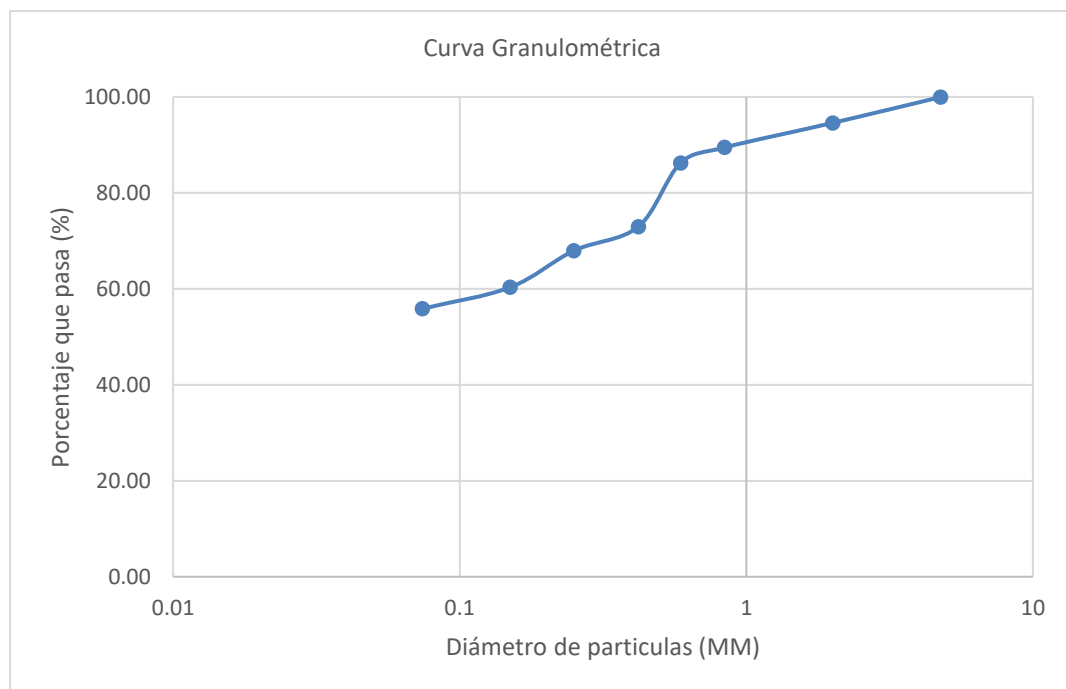
Resultados de ensayo de Análisis granulométrico mediante tamizado por lavado

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO					
Tamiz	Abertura del Tamiz	Peso Retenido (gr)	% RP	%RA	% que pasa
Nº 4	4.760	0.160	0.042	0.042	99.958
Nº10	2.000	20.370	5.379	5.421	94.579
Nº20	0.840	19.370	5.114	10.535	89.465
Nº30	0.590	12.240	3.232	13.767	86.233
Nº40	0.420	50.290	13.279	27.046	72.954
Nº60	0.250	18.960	5.006	32.052	67.948
Nº100	0.150	28.880	7.625	39.677	60.323
Nº200	0.074	16.940	4.473	44.150	55.850
Perdida	Lavado	211.520	55.850	100.000	0.000
Total		378.730			

A continuación, se muestra el gráfico de porcentaje que pasa (%) vs diámetro de partículas (MM)

Figura 34

Gráfico de curva granulométrica



Ensayo de proctor modificado muestra patrón.

Tabla 19

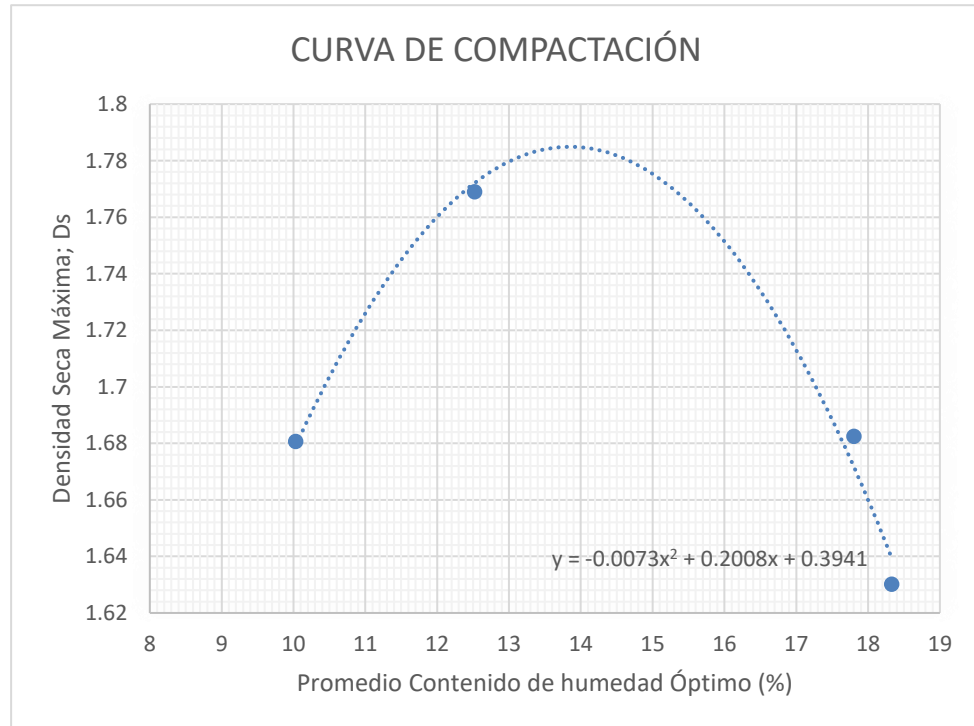
Resultados de ensayo de Compactación proctor modificado muestra patrón

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4017.000		3882.000		3882.000		3882.000	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	5760.000		5758.000		5750.000		5700.000	
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	1743.000		1876.000		1868.000		1818.000	
D	Volumen Muestra húmeda	ccm3	942.477		942.477		942.477		942.477	
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm3	1.849		1.990		1.982		1.929	
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	28.000	26.000	27.000	27.000	27.000	28.000	28.000	28.000
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	171.000	190.000	119.000	117.000	232.000	210.000	213.000	185.000
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	158.000	175.000	108.850	106.900	200.900	182.600	184.200	160.800
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	13.000	15.000	10.150	10.100	31.100	27.400	28.800	24.200
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	130.000	149.000	81.850	79.900	173.900	154.600	156.200	132.800
M	Contenido de Humedad (W%= (K/L) * 100)	%	10.000	10.067	12.401	12.641	17.884	17.723	18.438	18.223
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo (%)	%	10.034		12.521		17.803		18.330	
O	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cmcm3	1.681		1.769		1.682		1.630	

A base de los datos obtenidos en laboratorio y posteriormente procesarlos, obtenemos la siguiente curva de compactación

Figura 35

Gráfico de curva de compactación muestra patron



- Densidad Máxima obtenida: 1.77 gr/cm^3
- 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 optimo: 13.95 %
- Cantidad de agua para elaboración de cada bloque de tierra patrón de 9000gr de suelo compactado: 1256 ml

Ensayo de proctor modificado con muestra 5% de adición CBCA.

Tabla 20

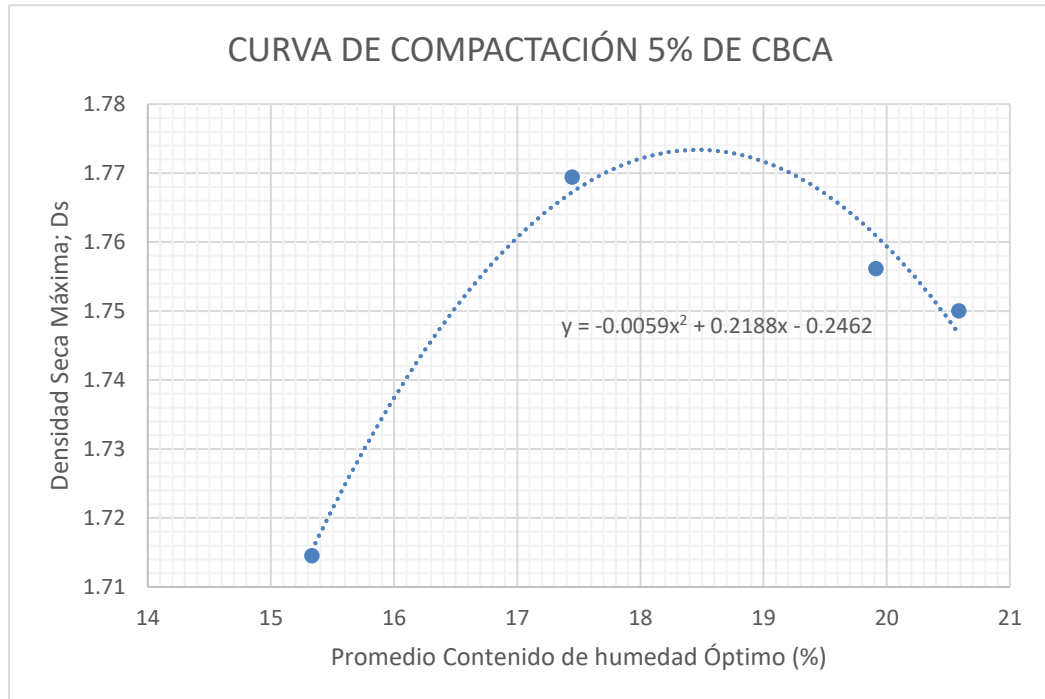
Resultados de ensayo de Compactación proctor modificado muestra con 5% de CBCA

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO CON 5% DE CBCA										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	3774.000		3774.000		3774.000		3774.000	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	5560.000		5651.000		5676.000		5680.000	
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	1786.000		1877.000		1902.000		1906.000	
D	Volumen Muestra húmeda	ccm3	903.208		903.208		903.208		903.208	
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm3	1.977		2.078		2.106		2.110	
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	28.600	27.700	27.860	27.960	28.360	28.790	28.730	28.800
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	174.100	191.900	136.420	173.100	180.800	160.700	205.910	193.400
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	155.000	169.800	120.400	151.400	155.600	138.700	176.100	164.900
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	19.100	22.100	16.020	21.700	25.200	22.000	29.810	28.500
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	126.400	142.100	92.540	123.440	127.240	109.910	147.370	136.100
M	Contenido de Humedad (W%=(K/L) * 100)	%	15.111	15.552	17.311	17.579	19.805	20.016	20.228	20.940
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo (%)	%	15.332		17.445		19.911		20.584	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm3	1.715		1.769		1.756		1.750	

A base de los datos obtenidos en laboratorio y posteriormente procesarlos, obtenemos la siguiente curva de compactación

Figura 36

Gráfico de curva de compactación muestra con 5% de CBCA



- Densidad Máxima obtenida: 1.78 gr/cm³
- Al aplicar la siguiente fórmula: $y = -0.0059x^2 + 0.2188x - 0.2462$ reemplazando x por el valor de contenido de humedad, obtenemos los siguientes resultados:
- Contenido de Humedad óptimo: 18.22 %
- Cantidad de agua para elaboración de cada bloque de tierra patrón de 9000gr de suelo compactado: 1639.8 ml.

Ensayo de proctor modificado con muestra 10% de adición CBCA

Tabla 21

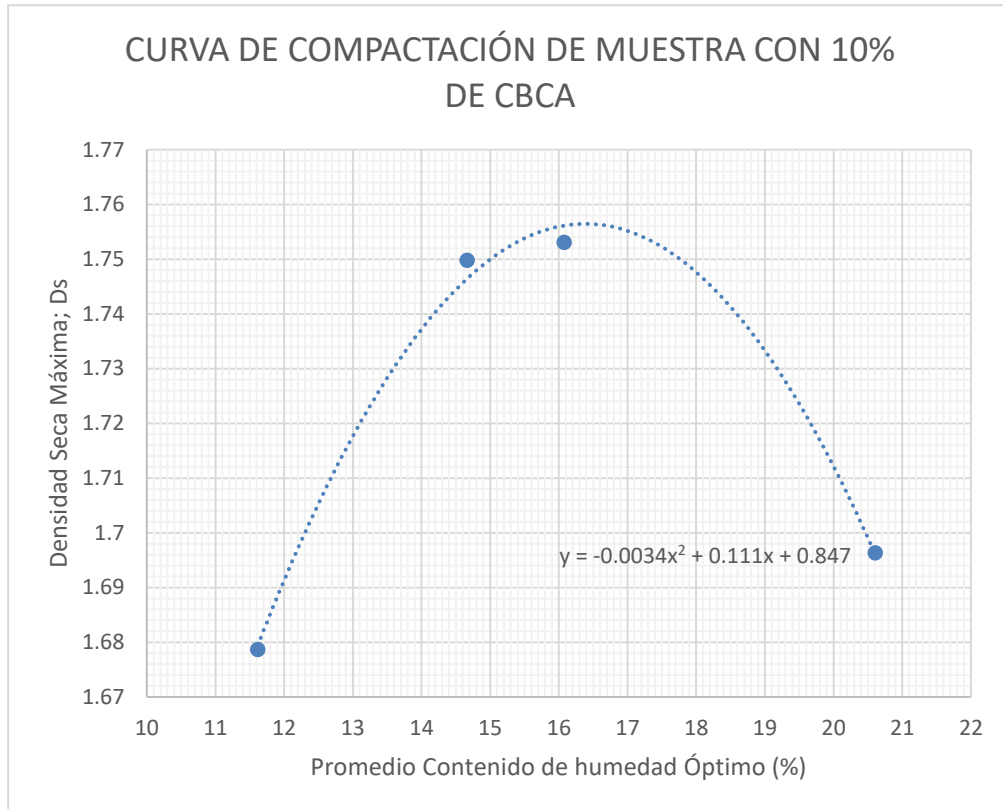
Resultados de ensayo de Compactación proctor modificado muestra con 10% de CBCA

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO CON 10% DE CBCA										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	3882.000		3882.000		3882.000		3882.000	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	5589.000		5710.000		5736.000		5746.000	
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	1707.000		1828.000		1854.000		1864.000	
D	Volumen Muestra húmeda	ccm3	911.062		911.062		911.062		911.062	
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm3	1.874		2.006		2.035		2.046	
G	Recipiente	Nº	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	27.570	28.300	28.410	27.980	27.500	28.190	28.700	27.590
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	137.910	163.290	122.270	151.830	130.860	154.900	118.860	189.380
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	126.300	149.400	110.100	136.210	116.500	137.400	103.580	161.510
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	11.610	13.890	12.170	15.620	14.360	17.500	15.280	27.870
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	98.730	121.100	81.690	108.230	89.000	109.210	74.880	133.920
M	Contenido de Humedad (W%= (K/L) * 100)	%	11.759	11.470	14.898	14.432	16.135	16.024	20.406	20.811
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo (%)	%	11.615		14.665		16.080		20.608	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm3	1.679		1.750		1.753		1.696	

A base de los datos obtenidos en laboratorio y posteriormente procesarlos, obtenemos la siguiente curva de compactación

Figura 37

Gráfico de curva de compactación muestra con 10% de CBCA



- Densidad Máxima obtenida: 1.75 gr/cm³
- Al aplicar la siguiente fórmula: $y = -0.0034x^2 + 0.111x + 0.847$, reemplazando x por el valor de contenido de humedad, obtenemos los siguientes resultados:
- Contenido de Humedad óptimo: 16.1 %
- Cantidad de agua para elaboración de cada bloque de tierra patrón de 9000gr de suelo compactado: 1449 ml.

Ensayo de proctor modificado con muestra 15% de adición CBCA

Tabla 22

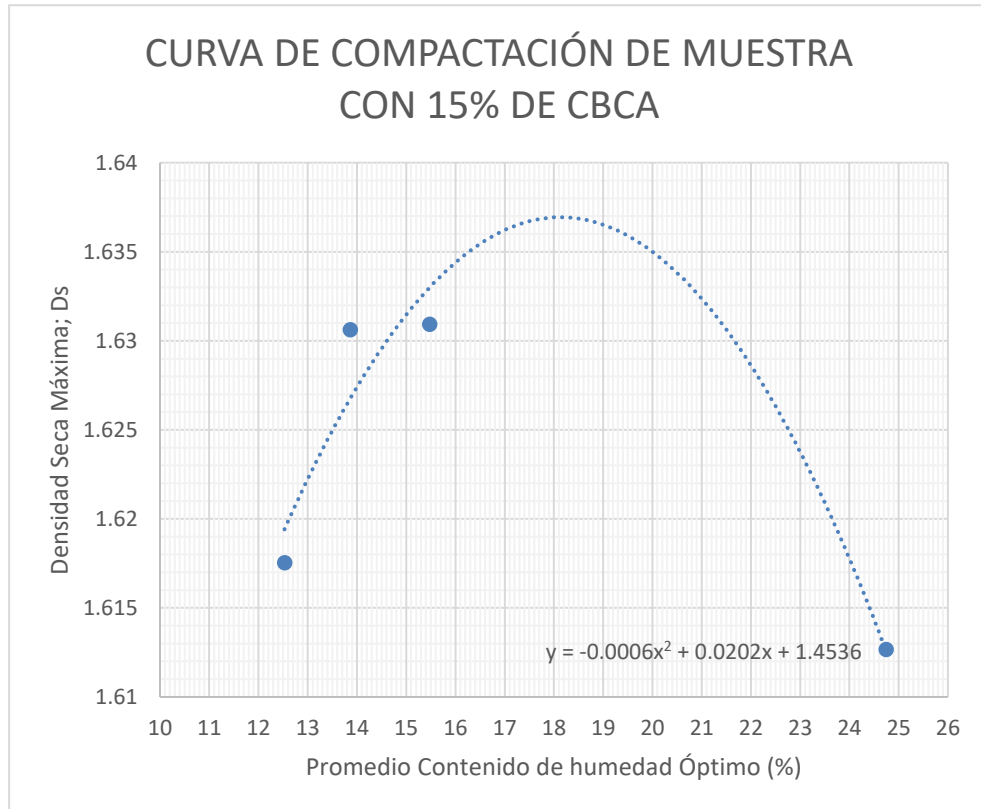
Resultados de ensayo de Compactación proctor modificado muestra con 15% de CBCA

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO CON 15% DE CBCA										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	3880.000		3880.000		3880.000		3880.000	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	5524.000		5557.000		5581.000		5697.000	
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	1644.000		1677.000		1701.000		1817.000	
D	Volumen Muestra húmeda	ccm3	903.208		903.208		903.208		903.208	
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm3	1.820		1.857		1.883		2.012	
G	Recipiente	Nº	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	26.490	25.860	25.960	27.960	27.920	25.300	25.600	26.740
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	133.680	117.240	138.500	132.920	189.190	128.970	154.890	192.710
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	121.590	107.200	124.850	120.090	167.890	114.880	129.150	159.910
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	12.090	10.040	13.650	12.830	21.300	14.090	25.740	32.800
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	95.100	81.340	98.890	92.130	139.970	89.580	103.550	133.170
M	Contenido de Humedad (W%= (K/L) * 100)	%	12.713	12.343	13.803	13.926	15.218	15.729	24.858	24.630
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo (%)	%	12.528		13.865		15.473		24.744	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm3	1.618		1.631		1.631		1.613	

A base de los datos obtenidos en laboratorio y posteriormente procesarlos, obtenemos la siguiente curva de compactación

Figura 38

Gráfico de curva de compactación muestra con 15% de CBCA



- Densidad Máxima obtenida: 1.62 gr/cm³
- Al aplicar la siguiente fórmula: $y = -0.0006x^2 + 0.0202x + 1.4536$ reemplazando x por el valor de contenido de humedad, obtenemos los siguientes resultados:
- Contenido de Humedad óptimo: 18.3 %
- Cantidad de agua para elaboración de cada bloque de tierra patrón de 9000gr de suelo compactado: 1647ml.

Evaluación de propiedades mecánicas de las unidades de adobe compactado.

Se desarrolló este ensayo con la finalidad de cumplir con los objetivos trazados y responder a la pregunta de investigación *¿Cuál es la resistencia a la compresión de adobe compactado con adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar al 5%, 10% y 15%, Cajamarca?* en este trabajo de investigación dichos objetivos fueron:

- Determinar la resistencia a la compresión del bloque de tierra compactado, sin adición de CBCA.
- Determinar la resistencia a la compresión del bloque de tierra compactado, con adición de 5% de CBCA.
- Determinar la resistencia a la compresión del bloque de tierra compactado, con adición de 10% de CBCA.
- Determinar la resistencia a la compresión del bloque de tierra compactado, con adición de 15% de CBCA.

Ensayo de compactación resultados cargas máximas muestra patrón

Tabla 23

Tabla resumen resistencia a la compresión de adobe muestra patrón

RESISTENCIA σ (kg/cm ²)							
ESPECIMEN	Patrón 1	Patrón 2	Patrón 3	Patrón 4	Patrón 5	Patrón 6	Promedio GC
PATRÓN GC	47.976	57.540	53.137	45.409	62.234	43.070	51.561

- Resistencia característica a compresión ($F'b$): 44.146 kg/cm²

Ensayo de compactación resultados cargas máximas muestra con 5% de adición de CBCA

Tabla 24

Tabla resumen resistencia a la compresión de adobe muestra con 5% de CBCA

ID de muestra	Carga máxima (kg)	σ (kg/cm ²)	ϵ_u
5%-1	7019	32.925	0.089
5%-2	7821	35.287	0.101
5%-3	7136	33.320	0.109
5%-4	7454	34.336	0.072
5%-5	6182	28.324	0.129
5%-6	7132	32.420	0.087
Promedio		32.768	0.098

- Resistencia característica a compresión ($F'b$): 30.360 kg/cm²

Ensayo de compactación resultados cargas máximas muestra con 10% de adición de CBCA.

Tabla 25

Tabla resumen resistencia a la compresión de adobe muestra con 10% de CBCA

ID de muestra	Carga máxima (kg)	σ (kg/cm ²)	ϵ_u
10%-1	6311	28.915	0.126
10%-2	6273	29.696	0.126
10%-3	5509	25.019	0.109
10%-4	5648	25.965	0.117
10%-5	5554	24.958	0.141
10%-6	5408	24.754	0.120
Promedio		26.551	0.123

- Resistencia característica a compresión (F'b): 24.363 kg/cm²

Ensayo de compactación resultados cargas máximas muestra con 15% de adición de CBCA.

Tabla 26

Tabla resumen resistencia a la compresión de adobe muestra con 15% de CBCA

ID de muestra	Carga máxima (kg)	σ (kg/cm ²)	ϵ_u
15%-1	5257	24.129	0.126
15%-2	5440	24.487	0.101
15%-3	4685	21.170	0.089
15%-4	4586	20.397	0.159
15%-5	4886	21.215	0.090
15%-6	4988	22.262	0.140
Promedio		22.277	0.118

- Resistencia característica a compresión (F'b): 20.591 kg/cm²

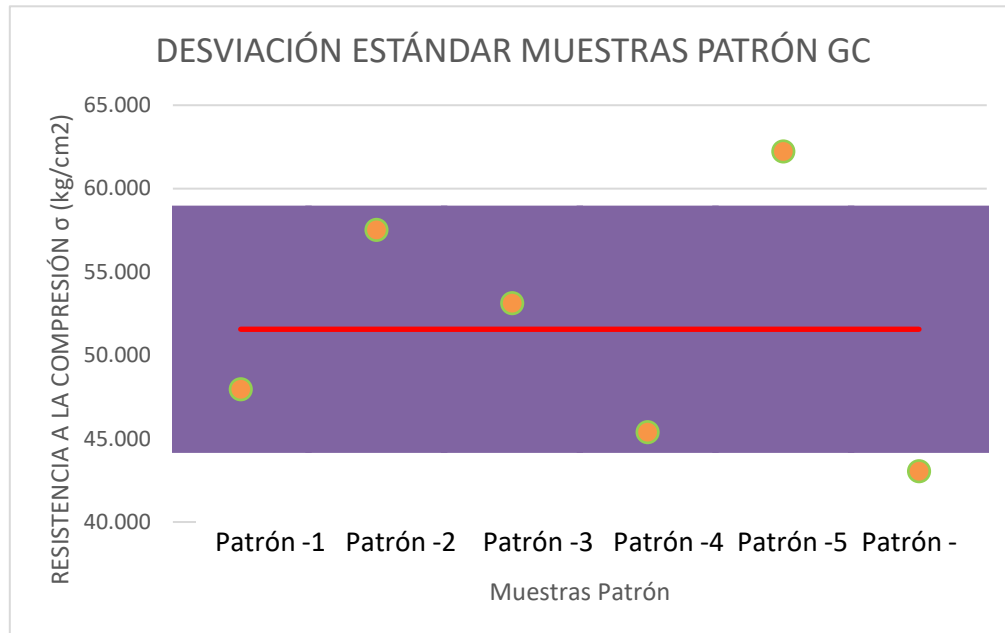
Tabla 27

Resumen de resistencia a la compresión axial adobes compactados.

TIPO DE ADOBE	F'b (kg/cm ²)
ADOBE PATRÓN (GC)	44.146
ADOBE CON 5% DE ADICIÓN DE CBCA (GE ₁)	30.360
ADOBE CON 10% DE ADICIÓN DE CBCA(GE ₂)	24.363
ADOBE CON 15% DE ADICIÓN DE CBCA(GE ₃)	20.591

Figura 39

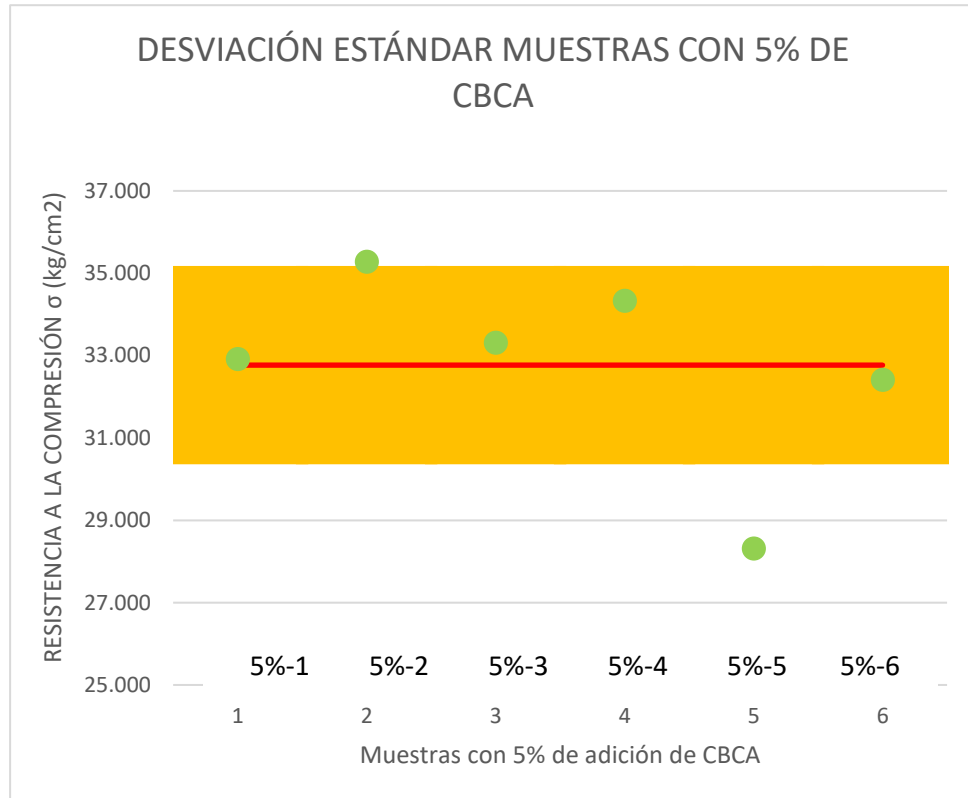
Desviación Estándar de muestras Patrón



- Desviación Estándar : 7.416 kg/cm²
- Coeficiente De Variación: 14.382%, el coeficiente de variación es menor o igual a 30%, lo que indica que los datos de las muestras son relativamente homogéneos. Por lo tanto, la media es representativa
- Límite Máximo: 58.977 kg/cm²
- Límite Mínimo: 44.146 kg/cm²

Figura 40.

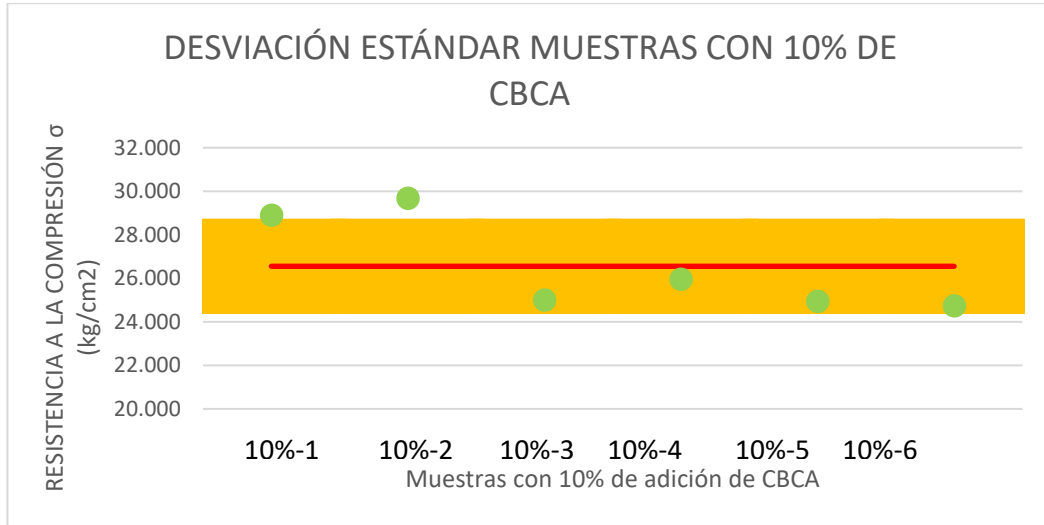
Desviación Estándar Muestras con 5% de CBCA



- Desviación Estándar : 2.409 kg/cm²
- Coeficiente De Variación: 7.350%, *el coeficiente de variación es menor o igual a 30%, lo que indica que los datos de las muestras son relativamente homogéneos. Por lo tanto, la media es representativa*
- Límite Máximo: 35.177 kg/cm²
- Límite Mínimo: 30.360 kg/cm²

Figura 41

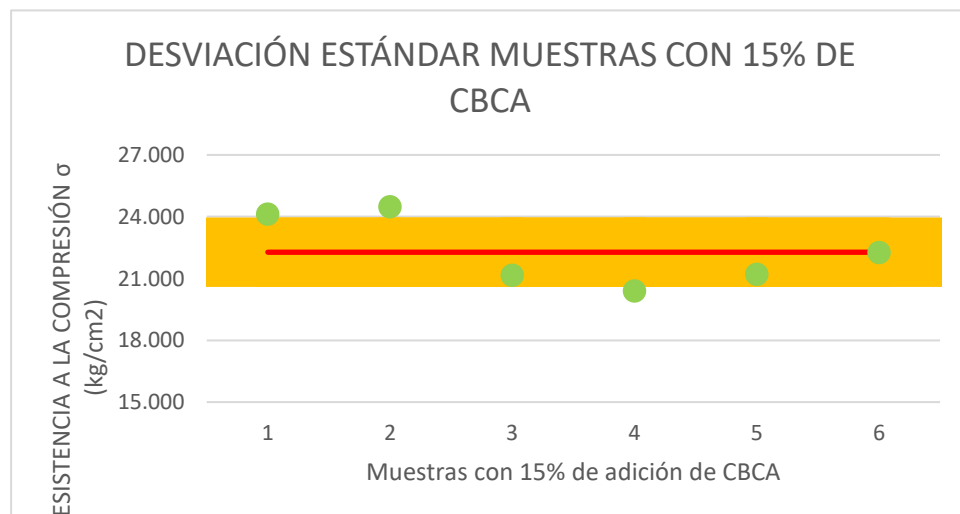
Desviación Estándar Muestras con 10% de CBCA



- Desviación Estándar: 2.188 kg/cm²
- Coeficiente De Variación: 8.240%, el coeficiente de variación es menor a 30%, lo que indica que los datos de las muestras son relativamente homogéneos. Por lo tanto, la media es representativa
- Límite Máximo: 28.739 kg/cm²
- Límite Mínimo: 24.363 kg/cm²

Figura 42

Desviación Estándar Muestras con 15% de CBCA.



- Desviación Estándar: 1.685 kg/cm²
- Coeficiente De Variación: 7.566%, el coeficiente de variación es menor a 30%, lo que indica que los datos de las muestras son relativamente homogéneos. Por lo tanto, la media es representativa
- Límite Máximo: 23.962 kg/cm²
- Límite Mínimo: 20.591 kg/cm²

Tabla 28

Resumen de desviación estándar de muestras

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

Análisis de varianza y ANOVA de un factor de ensayo a compresión de adobes a los

28 días de secado

Tabla 29

Análisis de varianza y ANOVA de un factor de ensayos a los 28 días

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

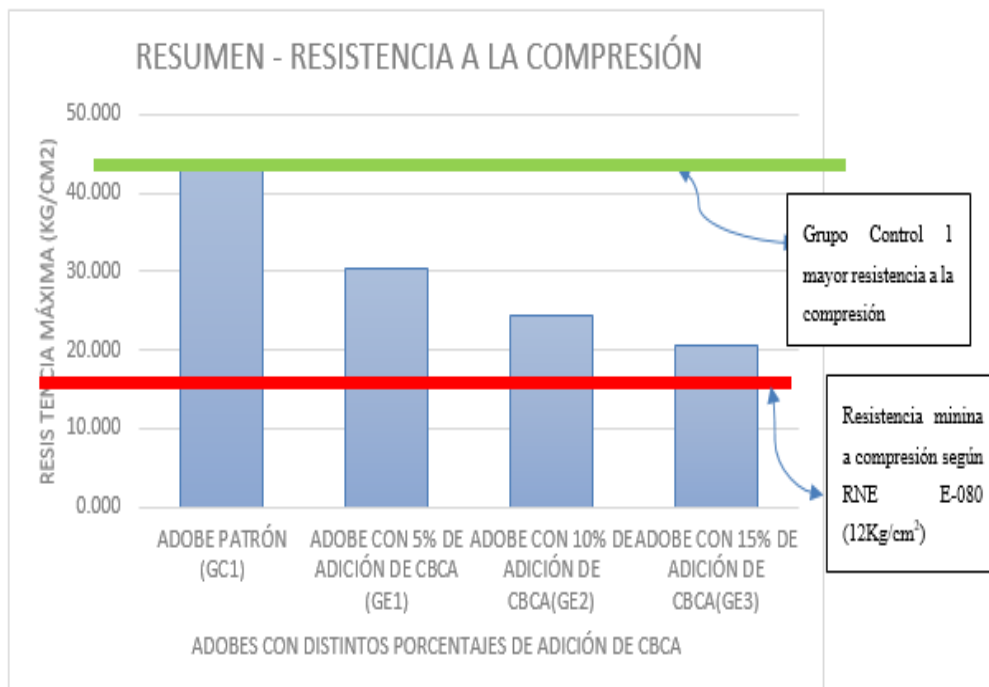
Anova de un factor del ensayo a compresión a los 28 días de secado

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3004.849	3.000	1001.616	58.558	4.385E-10	3.098
Dentro de los grupos	342.094	20.000	17.105			
Total	3346.943	23.000				

Se visualiza el análisis Anova de un factor de los resultados del ensayo de compresión en especímenes de adobe a los 28 días de secado, ya que existe una diferencia desproporcionada entre Grupo control Vs Grupos Experimentales. Lo que sugiere que, el Grupo Control tiene mejores propiedades mecánicas frente a esfuerzos de compresión en comparación a los Grupos Experimentales.

Figura 43

Resumen general de la resistencia a la compresión.



El aporte de la presente investigación consistió en determinar la resistencia a la compresión de adobe compactado con adición de ceniza de bagazo de caña al 5%, 10% y 15%. Como se puede apreciar en la figura 32, todas las muestras de adobe superaron la resistencia mínima de compresión de 12 Kg/cm², alcanzando un mayor valor, las muestras del Grupo Control – Adobes patrón, que en comparación con las muestras de Grupos Experimentales.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente capítulo se detallan las limitaciones basándonos en la realización del trabajo, adicionalmente se muestra una interpretación comparativa con estudios previamente citados. *Las implicancias prácticas y teóricas* con respecto a los resultados obtenidos y analizados, nos brindan la siguiente repercusión práctica, la cual se basó en mejorar las propiedades físicas y mecánicas del adobe mediante la adición de la ceniza de bagazo de caña de azúcar en porcentajes de 5%, 10% y 15%, dicho material se propone como una opción de aditivo debido a sus propiedades y comportamiento puzolánico con la finalidad de resolver el problema práctico – social presentado en la sección “*Realidad problemática*” relacionado con las viviendas elaboradas de adobe de la ciudad de Cajamarca, por lo cual, con la presente investigación se buscó mejorar la problemática mencionada con anterioridad, la implicancia teórica reside en que se espera que este trabajo de investigación sienta las bases para proyectos futuros y sirva como antecedente con respecto a estudios relacionados a la mejora de las propiedades físicas de adobes con aditivos de CBCA.

La *importancia de esta investigación* radica en plantear la mejora de las características físico – mecánicas del adobe mediante de adición 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. En primer lugar, *la primordial limitación* al momento de

desarrollar esta investigación fue la falta de antecedentes y de bibliografía en diferentes bibliotecas virtuales, adicionalmente, la escasez de información referente al uso de la CBCA como material aditivo de BTC, por lo cual no fue posible realizar una comparación en profundidad de manera detallada, por ello, se incita a jóvenes estudiantes y a profesionales a ampliar este tipo de investigaciones, ya que, la información con relación a la elaboración de adobes con aditivos de CBCA en Perú es muy limitada. También, otra limitación radicó en el contraste de los resultados obtenidos frente a otras investigaciones, por ello, mediante este estudio se incentiva a elaborar más trabajos relacionados con este tema. Por el hecho de que, los adobes pueden llegar a ser una opción económica y amigable con el medio ambiente en su utilización como material constructivo, una limitación más consistió en la extracción de la materia prima, puesto que, debía de ser un lugar relativamente cerca de la zona de elaboración de los adobes. Dicho problema se dio solución cuando se llegó a un acuerdo con el propietario de un terreno cercano para la realización de una calicata para la extracción de la tierra necesaria para la elaboración de los adobes, con la *finalidad* de mejorar las características físico, mecánicas de los bloques de tierra compactada y así obtener una opción de material de construcción noble económico y de fácil elaboración. Con respecto a la *limitación de la confiabilidad de los datos obtenidos en laboratorio*, la solución para corroborarlos fue captar los datos obtenidos de los ensayos, procesarlos en el software Excel y presentarlos a los encargados del laboratorio para su revisión y posterior firma. Finalmente, la limitación con respecto a los resultados obtenidos fue la incertidumbre de validez de la hipótesis planteada, puesto que al analizar los valores obtenidos en laboratorio no cumplen con la expectativa de que las muestras superen en resistencia a la compresión al Grupo Control, por ende, debimos de analizar los distintos factores que intervienen y encontrar las posibles causas

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 adición 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 adición de ceniza menor resistencia a la compresión, por ende, la hipótesis planteada *“La adición 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”* fue cumplida parcialmente, ya que, nuestra población de estudio si superó los estándares de calidad establecidos por la norma E080. Sin embargo, la adición 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 adición 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 adición 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 de Rocca Villalobos (2020) titulada "*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 adición 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 adición de CBCA, en comparativa nuestra muestra resiste esfuerzos de compresión de hasta 41.66% más que la del espécimen con adición de 8% de ceniza de caña de azúcar.

Al analizar los resultados del antecedente titulado "*Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión del concreto*" realizado por Farfán y Pastor (2018) llevaron 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 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 (Galarza Viera, Hernández-Olivares, & Arcones-Pascual, 2021). 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 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 cc. Pp 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 10x10x10 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 adición 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/cm^2 .

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 adición 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 adición 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 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 del 60.8 % .Por ende, interpretamos que la hipótesis establecida, no es válida en relación con lo estipulado “La adición 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 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 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 puzolanico 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 adición 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 adición 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 adición 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.

REFERENCIAS

- ABURTO MELENDEZ, J. S., & BRAVO RODRIGUEZ, E. A. (2018). *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*. Nuevo Chimbote: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA.
- ADRIAN ESTRADA, J. L., & BARTOLO PAREDES, R. J. (2021). "CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO SUSTITUCIÓN DEL CEMENTO PORTLAND EN ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO". NUEVO CHIMBOTE.
- Araujo Bautista, J. P. (2019). "RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, ADICIONANDO CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, EN REEMPLAZO DEL AGREGADO FINO". Cajamarca.
- Chavez Atalaya, J. Y., & Alva Sarmiento, A. E. (2020). *Physical And Mechanical Properties Of Compacted Adobe With Incorporation Of Coconut Fibers*.
- Comision de reglamentos técnicos comerciales. (1999). *NTP. Suelos. Método de ensayo para el análisis granulométrico*. Lima.
- DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICAS AGRARIAS. (Octubre de 2020). *BOLETÍN DE PUBLICACIÓN TRIMESTRAL • OCTUBRE-DICIEMBRE (Azúcar)*. Obtenido de Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego: <https://cdn.www.gob.pe/>
- El Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES*. Lima.
- FARFÁN CÓRDOVA, M. G., & PASTOR SIMÓN, H. (2018). *Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión del concreto*.
- Gargurevich., G. (20 de mayo de 2019). *La República*. Obtenido de 41% de casas construidas a nivel nacional están hechas con adobe: <https://larepublica.pe>
- GEOTECNIA FÁCIL. (2019). *Límites de Atterberg. Definición e interpretación*. Obtenido de GEOTECNIA FÁCIL: <https://geotecniafacil.com/>
- González Billón, A., Las Heras, A., & Anaya, H. (2020). *CARACTERIZACIÓN DE LAS CENIZAS DE BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA SER USADAS EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*. San Miguel de Tucuman: IX Congreso Internacional y 23ª Reunión Técnica.

- González Billón, G., Las Heras, A., & Anaya, D. (s.f.). *CARACTERIZACIÓN DE LAS CENIZAS DE BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA SER USADAS EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*. Tucumán.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática . (2017). *Características de las viviendas particulares censadas*. Lima.
- KAMIYAMA TELLO, S. H., & ZAVALA PONCE, R. R. (2021). "Análisis comparativo de adobe reforzado con bagazo de caña de azúcar, según el tipo de suelo, en Pascona - La Libertad". TRUJILLO.
- Lozano Rojas, W. J. (2018). "RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y ABSORCIÓN DEL ADOBE COMPACTADO CON LA ADICIÓN DE ACEITE DE LINAZA, CAJAMARCA 2018". CAJAMARCA.
- Mejía Díaz, I. (2014). *Bloque de adobe estabilizado y compactado en Cajamarca*. Cajamarca.
- ORION RCP LABORATORIOS. (s.f.). *PRENSA DE COMPRESION HIDRAULICA CON APROXIMACION MANUAL (PRENSA DIGITAL PARA ENSAYOS DE CONCRETO)*. Obtenido de ORION RCP LABORATORIOS: <https://www.orionrcp.com>
- OSORIO SARAZ, J. A., VARÓN ARISTIZABAL, F., & HERRERA MEJÍA, J. A. (2007). *COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR*. Medellín.
- Pacuri Zapana, O. A. (2014). *EFFECTO DE LA ADICIÓN DE AGLOMERANTES EN LA RESISTENCIA MECÁNICA Y ABSORCIÓN DEL ADOBE COMPACTADO EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO*. Puno: REVISTA CIENTÍFICA INGETECNO.
- QUINTANA CHOQUELUQUE, D. L., & VERA SALIZAR, M. O. (2017). "EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE ADOBES CON SUSTITUCIÓN PARCIAL Y TOTAL DE AGUA EN PESO POR MUCÍLAGO DE TUNA EN PORCENTAJES DEL 0%, 25%, 50%, 75% Y 100% . Cusco: Universidad Andina del Cusco .
- Ravines Azañero, I. (2016). "RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO $f'c= 210$ Kg/cm² CON LA ADICIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, UPNC 2016". Cajamarca .
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (3 de Abril de 2017). *Norma E.080*. Obtenido de Reglamento Nacional de Edificaciones: <https://cdn.www.gob.pe>
- Universidad Nacional de Ingeniería. (2006). MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO. *PRIMER TALLER DE MECANICA DE SUELOS – MARZO 2006*, 1-2.

Uriel Hernández , J. (2011). *Comportamiento Mecánico y Físico del Mortero a base de CBCA como árido en aplanados en muros.*

ANEXOS

En el presente capítulo se encuentra el panel fotográfico, la cual muestra las imágenes más relevantes del proceso de elaboración de los bloques de tierra compactado, adicionalmente también se incluye información complementaria tales como los protocolos de los ensayos firmados por el personal encargado de los laboratorios y firmados por el Ing. Tulio Guillén.