

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ADOBE COMPACTADO  
TRADICIONAL Y EL ADOBE COMPACTADO CON CENIZA  
DE BIOMASA ARBÓREA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Stewart Downey Idrogo Sempertegui

Asesor:

Ing. Anita Elizabet Alva Sarmiento

Cajamarca - Perú

2018



## ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Anita Elizabet Alva Sarmiento, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de **INGENIERÍA CIVIL**, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de los estudiantes:

- Idrogo Sempertegui, Stewart Downey

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: Propiedades mecánicas del adobe compactado tradicional y el adobe compactado con ceniza de biomasa arbórea; para aspirar al título profesional de: Ingeniero Civil por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al o a los interesados para su presentación.

---

Ing. Anita Elizabet Alva Sarmiento  
Asesor

## ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis de los estudiantes: Stewart Downey Idrogo Sempertegui para aspirar al título profesional con la tesis denominada: Propiedades mecánicas del adobe compactado tradicional y el adobe compactado con ceniza de biomasa arbórea.

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

**Aprobación por unanimidad**

**Aprobación por mayoría**

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

---

Dr. Orlando Aguilar Aliaga  
Jurado  
Presidente

---

Ing. Manuel Rafael Urteaga Toro  
Jurado

---

Ing. Iván Hedilbrando Mejía Díaz  
Jurado

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS**

Por darme la vida, salud y el cuidado en todos estos años de arduo trabajo y dedicación.

### **A MIS PADRES**

Por su apoyo, consejos, por formarme en los principios de Dios, los cuales me han permitido crecer como persona y profesional.

### **A MIS HERMANOS**

Por su compañía y tiempo dedicado para la culminación de la presente investigación.

## AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por su cuidado y bendición. Por permitirme cumplir uno de mis grandes sueños.

A mi asesor la Ing. Anita Elizabet Alva Sarmiento por su esfuerzo y dedicación, que, a través de sus conocimientos y experiencia, pudo orientarme en el proceso y culminación de la presente investigación.

Al Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga, por su apoyo en la revisión y realización de la presente investigación.

A la Universidad Privada del Norte, por su formación orientada a la calidad educativa, la cual me permitió ser un profesional acreditado.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS.....</b>	<b>2</b>
<b>ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS .....</b>	<b>3</b>
DEDICATORIA .....	4
AGRADECIMIENTO.....	5
ÍNDICE DE TABLAS .....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	10
RESUMEN.....	11
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
1.1. Realidad problemática .....	12
1.2. Formulación del problema .....	25
1.3. Objetivos .....	26
1.3.1. <i>Objetivo general</i> .....	26
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	26
1.4. Hipótesis .....	26
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>27</b>
2.1. Tipo de investigación.....	27
2.2. Población y muestra.....	27
2.3. Materiales, instrumentos y métodos .....	27
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	30
2.5. procedimiento .....	30
2.5.2. <i>Estudio de suelos</i> .....	31
2.5.3. <i>Ensayo de contenido de humedad</i> .....	32
2.5.4. <i>Análisis granulométrico por lavado</i> .....	32

2.5.5.	<i>Límites de consistencia o Atterberg</i> .....	33
2.5.6.	<i>Ensayo de proctor modificado</i> .....	34
2.5.7.	<i>Elaboración del adobe compactado</i> .....	35
2.5.8.	<i>Maquina Cinva Ram</i> .....	37
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS</b> .....		<b>40</b>
3.1.	Contenido de humedad .....	40
3.2.	Límites de consistencia .....	40
3.3.	Clasificación del suelo (SUCS) .....	42
3.4.	Análisis granulométrico .....	43
3.5.	Proctor modificado.....	44
3.6.	Resultados de los ensayos a compresión y flexión .....	47
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> .....		<b>49</b>
4.1.	Discusión .....	49
4.2.	Recomendaciones .....	51
4.3.	conclusiones.....	51
REFERENCIAS .....		53
ANEXO N° 1. PANEL FOTOGRÁFICO.....		57
ANEXO N° 2. MEMORIA DE CÁLCULO .....		64
ANEXO N° 3. PLANO DE UBICACIÓN DE CANTERA .....		107
ANEXO N° 4. PROTOCOLOS DE LABORATORIO .....		108

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de suelos por SUCS.....	18
Tabla 2. Composición química de la ceniza de biomasa arbórea (eucalipto).....	22
Tabla 3. Especificaciones para las cenizas según la Norma ASTM C 618.....	23
Tabla 4. Cantidad de adobes para ensayos a compresión y flexión. ....	27
Tabla 5. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	30
Tabla 6. Ensayo de contenido de humedad.....	40
Tabla 7. Ensayo de limite liquido.....	40
Tabla 8. Determinación del límite plástico.....	41
Tabla 9. Análisis granulométrico.....	43
Tabla 10. Proctor modificado de la muestra patrón.....	44
Tabla 11. Proctor modificado para la muestra con 8% de ceniza de biomasa arbórea.....	45
Tabla 12. Proctor modificado para la muestra con 10% de ceniza de biomasa arbórea.....	46
Tabla 13. Resumen de la resistencia a la compresión del adobe compactado.....	47
Tabla 14. Resumen de la resistencia a la flexión del adobe compactado.....	48



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pueblo de Taos, nuevo México - Estados Unidos.....	12
Figura 2. Ciudadela Chan chan - Perú.....	13
Figura 3. Desechos de biomasa en el Perú. ....	21
Figura 4. Ubicación de cantera.....	31
Figura 5. Preparación de la tierra para los respectivos ensayos .....	32
Figura 6. Colocación de la muestra en el horno para la determinación del contenido de humedad. 32	
Figura 7. Colocación del material lavado en el horno.....	33
Figura 8. Realización del análisis granulométrico mediante el uso del juego de mallas para suelo fino. .....	33
Figura 9. Determinación del límite mediante el uso de la Copa de Casagrande .....	34
Figura 10. Determinación del peso del molde del Proctor .....	34
Figura 11. Ensayo Proctor modificado con adición de 8% y 10% de ceniza de biomasa arbórea. ..	35
Figura 12. Preparación del material para la elaboración del adobe compactado. ....	35
Figura 13. Tamizado de la ceniza de eucalipto con el fin de separar las partículas del carbón. ....	36
Figura 14. Almacenamiento del material en el contenido óptimo de agua .....	36
Figura 15. Almacenamiento del material en el contenido óptimo de agua .....	37
Figura 16. Elaboración del adobe compactado - muestra patrón. ....	38
Figura 17. Elaboración de las muestras con 8% de ceniza de biomasa arbórea.....	38
Figura 18. Elaboración de las muestras con 10% de ceniza de biomasa arbórea.....	39
Figura 19. Área de secado de las unidades de adobe compactado. ....	39
Figura 20. Determinación del límite líquido en la curva de fluidez. ....	41
Figura 21. Carta de Casagrande .....	42
Figura 22. Curva granulométrica .....	43
Figura 23. Curva para la determinación del contenido óptimo de humedad.....	44
Figura 24. Proctor modificado para la muestra con 8% de ceniza de biomasa arbórea .....	46
Figura 25. Proctor modificado de muestras con 10% de ceniza de biomasa arbórea.....	47
Figura 26 Resultados obtenidos de la resistencia a compresión de las unidades de adobe compactado .....	47
Figura 27. Resultados obtenidos de la resistencia a flexión de las unidades de adobe compactado	48
Figura 28. Tendencia de los resultados de la resistencia a compresión del adobe compactado.....	49
Figura 29. Tendencia de los resultados de la resistencia a flexión.....	50

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Resistencia a compresión de la unidad.....	24
Ecuación 2. Resistencia a la flexión de la unidad .....	25
Ecuación 3. Porcentaje de humedad del suelo .....	28

## RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo evaluar la resistencia a compresión y flexión del adobe compactado con adición de 8% y 10% de ceniza de biomasa arbórea (eucalipto), utilizando tierra proveniente del caserío Aylambo Bajo, distrito de Cajamarca. Los ensayos necesarios para la elaboración del adobe compactado, se realizaron según los procedimientos establecidos en las Normas Técnicas Peruanas. Los resultados obtenidos del ensayo a compresión, indicaron que la adición de 8% y 10% ceniza de biomasa arbórea disminuye las propiedades mecánicas del adobe compactado. La muestra patrón presentó una resistencia de 12.62 kg/cm<sup>2</sup>, la cual supera de manera satisfactoria la resistencia mínima que indica la Norma Técnica E.080. La resistencia a flexión del adobe compactado con 8% y 10% de ceniza de biomasa arbórea fue de 3.82 kg/cm<sup>2</sup> y 3.69 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, la cual comparándola con la resistencia 3.71 kg/cm<sup>2</sup> obtenida de la muestra patrón, refleja una variación no mayor del 2.96%. La hipótesis de la presente investigación no ha sido demostrada, ya que, según los resultados obtenidos, la adición de ceniza de biomasa arbórea (eucalipto), aplicado al suelo del caserío Aylambo Bajo (arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas) no aporta mejoras a las propiedades mecánicas del adobe compactado.

**Palabras clave:** Adobe compactado, ceniza de biomasa arbórea, propiedades mecánicas.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Durante siglos las civilizaciones tuvieron medios para edificar, reparar y adecuar su espacio habitable gracias al uso de materiales de origen terreo, ya que estaban a su alcance y eran de fácil transformación. (Sánchez y Soria, 2015).

Entre las muy variadas prácticas tradicionales de construcción con tierra destaca el uso del adobe, ya que está presente en prácticamente todas las civilizaciones del mundo. Las características que puede presentar una pieza, tanto en dimensiones, consistencia, forma de producción y de aplicación en las edificaciones, entre otras, eran resultado de las mejoras que buscaban las comunidades, para satisfacer sus necesidades (Sánchez et.al., 2015).

Taos Pueblo representa una etapa importante en la historia de la vida urbana, comunitaria y cultural y desarrollo en esta región. Puesto que, ha sido continuamente habitada y es el más grande de estos pueblos que todavía existe, con sus casas norte y sur que se elevan a alturas de cinco pisos (Unesco, 1992).



*Figura 1.* Pueblo de Taos, nuevo México - Estados Unidos  
Fuente: Unesco, 1992.

En el Perú La zona monumental de Chan Chan ubicada en el otrora fértil valle fluvial de Moche o Santa Catalina, fue la ciudad de arquitectura de tierra más grande en la América precolombina (Unesco, 1896).

Chan Chan comprende nueve grandes complejos rectangulares delineados por altas y gruesas paredes de tierra. Dentro de estas unidades, los edificios que incluyen templos, viviendas, almacenes, están dispuestos alrededor de espacios abiertos, junto con embalses y plataformas funerarias (Unesco, 1896).



*Figura 2.* Ciudadela Chan chan - Perú.  
Fuente: Unesco, 1896.

La Sociedad Geológica Mexicana, en su boletín: Arquitectura de tierra: El adobe como material de construcción (2012), señaló que el adobe como material de construcción para uso habitacional ha sido utilizado por miles de años por los pueblos indígenas de América, tanto en el suroeste de los Estados Unidos como en Mesoamérica y la región andina en Sudamérica. Actualmente el 50% de las casas del mundo están construidas con este material.

A pesar de la baja respuesta sísmica que tienen las edificaciones de adobe, este es un material muy utilizado en nuestro país ya que además de ser una tecnología

constructiva simple y de bajo costo, tiene otras ventajas, tales como aislamiento acústico e inercia térmica (IAEE, 2003).

El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2014), indicó que en los últimos 7 años el 47,1% de la población nacional, habitan en viviendas cuyas paredes están hechas de adobe, quincha, madera y esteras. Cabe indicar que, en el año 2012, las 1 838 municipalidades del país registraron 321 sismos a nivel nacional, siendo Lima, Áncash, Cajamarca, Ayacucho y Puno los departamentos donde se registró el mayor número de movimientos telúricos.

Hoy en día, preocupaciones ambientales y un interés en la reducción de los costos de construcción, han llevado a utilizar algunos materiales reciclados en lugar de materiales convencionales para proyectos de ingeniería, resultando favorable los resultados en términos tanto económicos como técnicos (Sarvaswini et.al., 2017).

Si bien el cemento, la cal y el yeso son los estabilizantes más eficientes entre los que se pueden ser adquiridos fácilmente, sin embargo, necesitan más energía que el resto para ser producidos, especialmente el cemento, lo que paliaría un poco las características sostenibles de la construcción con tierra (Fernández, 2012).

Las biomásas, incluidas las plantas, son los materiales orgánicos que se derivan de cualquier vida o estructura recientemente viviente, las cuales en su mayoría son quemadas y luego desechadas sin tratamiento (Sarvaswini et.al., 2017).

Sarvaswimi, Theertharama, Sharath y Kumar (2017) en su artículo “Un estudio experimental sobre el uso de ceniza de eucalipto y polvo de granito en bloques de barro estabilizado”, realizaron la incorporación de ceniza de eucalipto, polvo de granito y cemento en porcentajes menores al 8%. Para la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del bloque de barro estabilizado, realizaron los ensayos según normativa

para determinar el óptimo contenido de agua a utilizar en los bloques de tierra. Los autores concluyen que los bloques de lodo estabilizado a base de ceniza de eucalipto con la combinación de estabilizador 5% de cemento + 3% de ceniza de eucalipto, cumple con todas las especificaciones dispuestos en la IS: 1725-1892, puesto que, la resistencia a compresión de las unidades supera de manera considerable al mínimo requerido ( $30.59 \text{ kg/cm}^2$ ).

Subramaniam, Subasinghe y Fonseka (2015) en su artículo “Ceniza de madera como un material primo efectivo para bloques de hormigón”, realizaron el reemplazo parcial del material de cemento por ceniza de madera durante la fabricación de bloques de hormigón. Para ello, incorporaron porcentajes de 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza de madera en la mezcla cemento – arena, curados en 21 días. Los autores concluyen que el bloque de cemento con un 15% de reemplazo de ceniza de madera, mostró la mayor resistencia a la compresión ( $28.55 \text{ kg/cm}^2$ ), lo que representa un aumento del 9% en comparación con el bloque de control. Asimismo, indican que la ceniza de madera tiene la capacidad potencial de reemplazar parcialmente el cemento en la industria de fabricación de bloques de cemento.

Siccha (2017) en su tesis profesional “Resistencia del adobe con adición de 4%, 6% y 8% de ceniza de coronta de maíz, Centro Poblado Vinzos – Santa”, evaluó la resistencia a la compresión de las unidades de adobe cuando se le adiciona ceniza de coronta de maíz. Para ello, realizó unidades a las que se les adicionó un porcentaje de 4%, 6% y 8% de ceniza de coronta de maíz, dividiendo la totalidad de dichas unidades para su secado en dos grupos, secado bajo sombra y secado bajo sol, para posteriormente ser sometidas al ensayo de resistencia a compresión. El autor concluye que en las unidades de adobe secadas bajo sombra adicionadas con un porcentaje de

4% con cenizas de coronta de maíz, alcanzó un porcentaje de mejora de 26% mayor respecto al patrón y un porcentaje de 41% mayor respecto al requerido según la norma E.080, estos valores se obtuvieron a los 30 días de secado de las unidades de adobe.

Castro (2017) en su tesis profesional “Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de Cáscara de arroz para el mejoramiento de subrasante”, evaluó la incorporación de la ceniza de cáscara de arroz a nivel de subrasante de un pavimento. Para ello, realizaron los ensayos de laboratorio para poder determinar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras del suelo arcilloso, siguiendo la normativa establecida en el MTC y ASTM. Los porcentajes de adición de ceniza fueron del 10%, 20%, 30% y 40%, más un 3% de cal para cada uno de los casos. Del mismo modo, realizaron adiciones únicamente con ceniza en porcentajes de 10%, 20%, 30% y 40%. Los resultados obtenidos durante su investigación concluyen que la resistencia a la compresión no confinada aumenta para las dos combinaciones planteadas. Para un contenido del 10% cuando el suelo arcilloso es mezclado con ceniza de cáscara de arroz y cal aumenta de  $6.91 \text{ kg/cm}^2$  hasta  $9.96 \text{ kg/cm}^2$  y para el caso de las combinaciones del suelo arcilloso con ceniza de cáscara de arroz permite un aumento de  $6.91 \text{ kg/cm}^2$  hasta  $8.77 \text{ kg/cm}^2$ , por lo que se dice que el suelo estabilizado con ceniza de cáscara de arroz trae cambios favorables que hacen posible usar el material a nivel de subrasante.

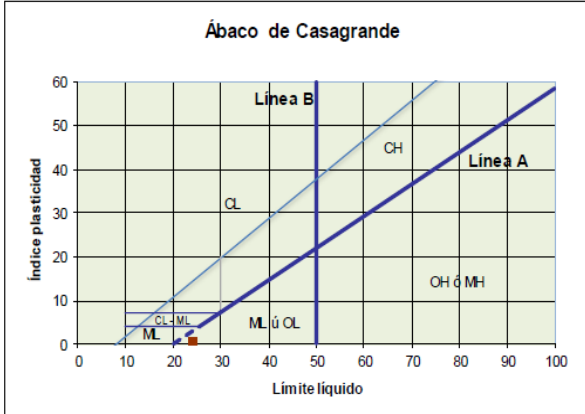
Desde el punto de vista de la ingeniería, Suelo es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras, del que importan las propiedades físico-químicas, especialmente las propiedades mecánicas.

El suelo está compuesto por la mezcla de un conjunto de elementos como: arena, limo, arcilla y grava, por la descomposición biológica tenemos la materia orgánica.



- Arena: Es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2 mm y 0.05 mm de diámetro.
- Limo: Es el material de diámetro comprendido entre 1/16 y 1/256 mm o el sedimento en que el 50% de las partículas está incluido en esta amplitud. Las partículas de limo son más angulosas que redondas como los granos de arena.
- Arcilla: Han sido definidas como tierras plásticas naturales, integradas por silicatos de aluminio hidratado., es de grano fino (sedimento de granos con diámetro menor de 0.002 o 1/256mm).
- Grava: Son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de dos milímetros de diámetro. Sus partículas varían desde 7.62 cm (3") hasta 2.0mm.

Tabla 1. Clasificación de suelos por SUCS

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDETIFICACIÓN DE LABORATORIO			
<b>SUELOS DE GRANO GRUEGO.</b> Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	<b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4.76mm)	<b>Gravas limpias</b> (sin o con pocos finos)	<b>GM</b> Gravas, bien graduadas, mezclas grava - arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos ( fracción inferior al tamiz numero 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% ->GW, GP, SW, SP. >12% ->GM, GC, SM, SC. 5 al 12% -> casos límite que requieren usar doble símbolo.	$CU = D_{60}/D_{10} > 4$ $CC. = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3		
		<b>Gravas limpias</b> (sin o con pocos finos)	<b>GP</b> Gravas, mal graduadas, mezclas grava - arena, pocos finos o sin finos.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW		
		<b>Gravas limpias</b> (sin o con pocos finos)	<b>GM</b> Gravas limosas, mezclas grava - arena - limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$ .	Encima de línea A con IP entre 4 y 7 con casos límite que requieren doble símbolo.	
		<b>Gravas limpias</b> (sin o con pocos finos)	<b>GC</b> Gravas arcillosas, mezclas grava - arena - arcilla.		Límites de Atterberg sobre de la línea A o $IP > 7$ .		
	<b>ARENAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4.76mm).	<b>Arenas limpias</b> (poco o sin finos)	<b>SW</b> Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		$CU = D_{60}/D_{10} > 6$ $CC. = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3		
			<b>SP</b> Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.		
		<b>Arenas con finos</b> (apreciable cantidad de finos)	<b>SM</b> Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$ .	zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.	
			<b>SC</b> Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		Límites de Atterberg sobre de la línea A o $IP > 7$ .		
			<b>SUELOS DE GRANO FINO.</b> Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200		<b>Limos y arcillas:</b> Límite líquido menor de 50	<b>ML</b> Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plasticidad.	
						<b>CL</b> Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.	
<b>OL</b> Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.							
<b>Limos y arcillas:</b> Límite líquido mayor de 50	<b>MH</b> Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.						
	<b>CH</b> Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.						
	<b>OH</b> Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos inorgánicos						
	<b>Suelos muy orgánicas</b>	<b>PT</b> Turba y otros suelos de alto contenido orgánico					

Fuente: Borselli, 2017.

Se define el adobe como un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos (RNE, 2014).

Los tipos de adobe se definen en dos grupos: A) Adobe compactado, es una alternativa en la que se aprovecha las ventajas del adobe tradicional para minimizar sus desventajas de resistencia; el efecto que la compactación produce se refleja en el aumento en la densidad del adobe, incrementando su resistencia mecánica, debido a que se disminuye la porosidad. B) Adobe Estabilizado, es en el que se ha incorporado otros materiales (asfalto, cemento, cal, etc.) con el fin de mejorar sus condiciones de resistencia a la compresión y estabilidad ante la presencia de humedad (RNE, 2014).

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos y la incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos pobres, en este caso son conocidas como estabilización de suelo-cemento, suelo-cal, suelo-asfalto y otros productos diversos (Pérez, 2014).

Tipos de estabilización de suelos

- Estabilización física y mecánica: Este método se utiliza para mejorar el suelo de baja capacidad de soporte produciendo cambios físicos en el mismo, sin que se produzcan reacciones químicas de importancia (Pérez, 2014).
- Estabilización por compactación: Consiste en comprimir los granos entre sí aumentando así su fricción interna (compacidad), lo que incrementa su capacidad de soporte (Pérez, 2014).
- Estabilización empleando la mezcla de suelos: Según Pérez (2016) la estabilización empleando la mezcla de suelos es de amplio uso, pero por sí sola no logra reducir los efectos deseados, necesitándose siempre por lo menos la

compactación como complemento La mezcla adecuada de gravas, arenas y arcillas puede dar como resultado un material estable en el que se puede aprovechar la gran fricción interna de uno y la cohesión del otro para que las partículas se mantengan unidas.

- Estabilización química: La estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto.
- Estabilizantes ecológicos: La Norma UNE 41410, 2008; en el Anexo C: Estabilización, recomienda reunir información sobre los estabilizantes disponibles mediante una serie de criterios: a) Disponibilidad regional, se preferirán productos cercanos. b) Minimización del impacto ambiental, realizándolo a partir del análisis del ciclo de vida estabilizante: consumo mínimo de energía, agua y recursos renovables; emisión mínima de sustancias tóxicas al entorno desde su extracción, fabricación, transporte, aplicación y vida útil. c) Procesos tecnológicos apropiados a la puesta en obra y al mantenimiento. d) Evaluación económica.

Las biomásas, incluidas las plantas, son los materiales orgánicos que se derivan de cualquier vida o estructura recientemente viviente, las cuales en su mayoría quemadas y luego se desecha sin tratamiento (Sarvaswini et.al., 2017).

Según Solla et al. (2001) las cenizas se obtienen por la combustión de madera o corteza de madera en diferentes industrias de fabricación de tableros y pasta de papel para la obtención de energía.

La ceniza de madera es un subproducto de la combustión de calderas de leña, en unas típicas fábricas de papel y otras instalaciones de quema de madera. Se producen aproximadamente tres millones de toneladas de ceniza de madera anualmente en los Estados Unidos. Aproximadamente el 70% de las cenizas de madera se vierte en la tierra, el 20% se utiliza como suelo suplemento, y el 10% restante en diversas aplicaciones (Sarvaswini et.al., 2017).

En el Perú, los negocios agroindustriales, las granjas y las industrias de la madera son una importante fuente de desechos de biomasa secundaria, los cuales, anualmente, generan más de 11 600 000 toneladas métricas/año de residuos, constituidos principalmente por 440 000 TM de cascarilla de arroz, 90 000 TM de aserrín, 200 000 TM de viruta de madera y 55 000 TM de cascarilla de café. Dichos residuos tienen casi nula aplicación en procesos industriales y/o actividades domésticas (Ingenium, 2016).

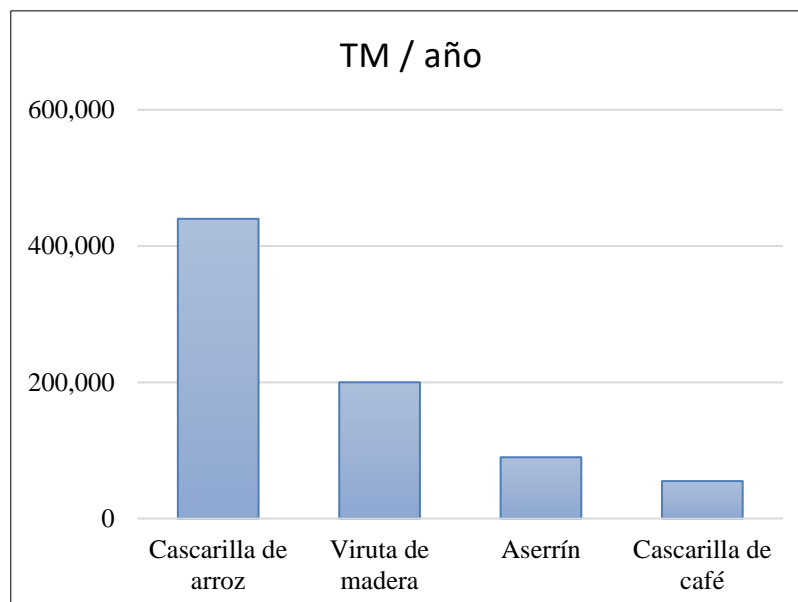


Figura 3. Desechos de biomasa en el Perú.  
Fuente: Ingenium, 2016.

Los elementos que forman las cenizas están presentes en la biomasa como sales unidas químicamente a la estructura del carbón (ceniza inherente) o puede venir con la biomasa como partículas minerales de la tierra donde han sido cultivadas y son introducidos durante la cosecha y transporte (Melissari, 2012).

Las cenizas procedentes de la biomasa forestal provienen de los minerales presentes en la estructura de los árboles y arbustos. Así pues, las propiedades de las cenizas dependen de una variedad de factores, incluyendo el tipo de árbol o arbusto, la parte del árbol o arbusto (corteza, madera, hojas), el tipo de residuo (madera, pasta de papel, o residuos de papel), la combinación con otras fuentes de combustible, el tipo de suelo y clima y las condiciones de combustión (Melissari, 2012).

Tabla 2. *Composición química de la ceniza de biomasa arbórea (eucalipto).*

<b>CENIZA (% EN PESO)</b>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	MnO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P.p.c
<b>EUCALIPTO</b>	37.40	9.50	2.60	6.30	1.40	4.50	25.10	0.90	0.40	2.50	5.30

Fuente: Barbosa y Michael, 2016.

Según la Norma ASTM C 618 (American Society for Testing and Materials) existen principalmente dos tipos de cenizas:

Clase C: Las cenizas que se consideran en este grupo, presentan propiedades cementicias y puzolánicas, obtenidas de lignitos y carbones sub bituminosos, y que deben tener un contenido mínimo de SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> del 50% y un máximo en cal entre 15% y 30% para poder ser empleados en hormigones.

Clase F: Son las cenizas normalmente obtenidas en la combustión de antracitas y carbones bituminosos, con un contenido de  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  del 70% en peso y con pequeñas cantidades de cal, generalmente inferiores al 15%. Estas cenizas presentan también propiedades puzolánicas.

Tabla 3. *Especificaciones para las cenizas según la Norma ASTM C 618*

DESCRIPCION	CLASE C	CLASE F
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	>50%	>70%
CaO	>10%	<10%
$\text{SO}_3$	<5%	<5%
Álcalis disponibles como $\text{NaO}_2$	<1.5%	<1.5%
Perdida a la incineración (LOI)	<6%	<6%
Humedad	<3%	<3%

Fuente: Norma ASTM C 618, 1989.

Según su composición química, y atendiendo a la procedencia del carbón de origen, las cenizas pueden clasificarse en:

- **Cenizas Silico-aluminosas:** Denominadas también puzolánicas o no activas con contenidos de CaO inferiores al 10%, clase F según Norma ASTM C 618-08a. Son las más importantes en cuanto a cantidades producidas y aprovechamiento. Tienen propiedades ligantes en presencia de activadores de puzolanicidad (cal o cemento); son también hidrofílicas y tienen propiedades puzolánicas (Cedex, 2011).
- **Cenizas Sulfo-cálcicas:** Con altos contenidos de CaO, por encima del 10%; clase C según ASTM C 618-08a. Se llaman también hidráulicas o activas. Suelen presentar un comportamiento de aglomerantes hidráulicos; es decir, cuando son amasados con agua sufren reacciones de hidratación, fraguando y endureciendo, siendo muy semejantes a los que tienen lugar en los cementos (Cedex, 2011).

La forma de los adobes deberá ser de planta cuadrada o rectangular y en caso de encuentros con ángulos diferentes de 90°, de formas especiales.

Sus dimensiones deberán ajustarse a las siguientes proposiciones:

- Para adobes rectangulares el largo sea aproximadamente el doble del ancho.
- La relación entre el largo y la altura debe ser del orden de 4 a 1.
- En lo posible la altura debe ser mayor a 8 cm.

Según San Bartolomé (2001) en su libro Construcciones de albañilería, menciona que las propiedades mecánicas de adobe son aquellas que se manifiestan cuando sometemos al material a un esfuerzo, es decir, como se comporta el material cuando le aplicamos una fuerza.

Aquí se tienen:

- Esfuerzo a flexión
- Esfuerzo a la compresión

Esfuerzos Admisibles

Los ensayos para la obtención de los esfuerzos admisibles de diseño consideran la variabilidad de los materiales a usarse. Para fines de diseño se considerará los siguientes esfuerzos mínimos según la norma E-080.

Resistencia a la compresión de la unidad

*Ecuación 1.* Resistencia a compresión de la unidad.....  $f = \frac{P_u}{A}$

Dónde:

f = Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)

P<sub>u</sub> = Carga Aplicada (kg)

A = Área de aplicación de la carga (cm<sup>2</sup>)



### Resistencia a la flexión

El ensayo a flexión se efectúa en la máquina de compresión sobre una unidad entera a la cual se apoya con una luz no mayor de 18 cm, sometiéndola una carga puntual al centro del elemento (Gallegos y Casabonne, 2005).

Ecuación 2. Resistencia a la flexión de la unidad .....  $f = \frac{3 * P_u * L}{2 * b * t^2}$

Dónde:

f = Resistencia a la flexión (kg/cm<sup>2</sup>)

P<sub>u</sub> = Carga de rotura (kg)

L = Luz entre ejes de apoyos (cm)

b = Ancho de la unidad (cm)

t = Altura (cm)

Nuestro Perú como ya lo mencionó el Instituto Nacional de Estadística e informática, es un país que ha sufrido grandes daños en relación a las edificaciones, siendo las más vulnerables las construidas con adobe. Sin embargo, la búsqueda de nuevas metodologías para su elaboración ha permitido integrar distintos materiales estabilizadores en su fabricación, de modo que reduzcan su vulnerabilidad ante eventos de este tipo, permitiendo así tener viviendas más seguras, económicas y amigables con el medio ambiente. Por tal motivo, mediante la presente investigación se busca generar un nuevo conocimiento acerca del efecto que puede generar la incorporación de ceniza de biomasa arbórea en las propiedades mecánicas del adobe compactado.

## 1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye la incorporación de ceniza de biomasa arbórea en las propiedades mecánicas del adobe compactado?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar las propiedades mecánicas del adobe compactado tradicional y el adobe compactado con ceniza de biomasa arbórea.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Analizar y clasificar el suelo del caserío Aylambo Bajo – distrito de Cajamarca.
- Elaborar las muestras de adobe compactado, considerando el óptimo contenido de humedad, tanto para la muestra patrón como para el adobe con ceniza biomasa arbórea.
- Determinar la resistencia a compresión y flexión del adobe compactado con adición de 8% y 10% de ceniza de biomasa arbórea y la del adobe compactado tradicional.
- Comparar los resultados de la resistencia a compresión y flexión de los adobes estabilizados con la muestra patrón y la norma E.080.

### **1.4. Hipótesis**

Las propiedades mecánicas del adobe compactado con ceniza de biomasa arbórea aumentan en más de un 10% en comparación con el adobe compactado tradicional.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Experimental

### 2.2. Población y muestra

No probabilística (por conveniencia), la población es igual a la muestra. En la presente investigación se realizó 18 cubos de adobe compactado para los ensayos a compresión y 18 unidades para los ensayos a flexión. Todas estas consideraciones se han realizado de acuerdo a la normativa vigente, la cual establece un mínimo de 6 cubos para ensayos a compresión y flexión.

Tabla 4. *Cantidad de adobes para ensayos a compresión y flexión.*

MATERIAL	ENSAYO	Nº DE MUESTRAS
Adobe tradicional	Resistencia a la compresión	6 cubos
	Resistencia a la flexión	6 unidades
Adobe con 8% de ceniza de biomasa arbórea	Resistencia a la compresión	6 cubos
	Resistencia a la flexión	6 unidades
Adobe con 10% de ceniza de biomasa arbórea	Resistencia a la compresión	6 cubos
	Resistencia a la flexión	6 unidades

### 2.3. Materiales, instrumentos y métodos

Los ensayos necesarios para la elaboración del adobe compactado se realizaron en las instalaciones del laboratorio de concreto de la Universidad Privada del Norte, siguiendo los métodos y procedimientos establecidos en las normas que a continuación se mencionan:

Contenido de humedad: Según NTP 339.127 (1999) el contenido de humedad es la cantidad de agua presente en una muestra de suelo, el cual se obtiene mediante la relación entre el peso del agua y el peso de fase sólida, mediante una expresión en porcentaje.

*Ecuación 3.* Porcentaje de humedad del suelo .....  $w (\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100$

Dónde:

W = Contenido de agua o humedad, (%)

Ww = peso de agua presente en la masa de suelos, (gr)

Ws = peso de la muestra seca, (gr)

- Ensayo granulométrico mediante tamizado por lavado: el ensayo granulométrico consiste en la determinación cuantitativa de la distribución de 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 sedimentación basada en la ley de Stokes utilizando un densímetro adecuado (NTP 339.128, 1999).
- Límites de Atterberg o límites de consistencia: Facilidad con la que un suelo puede ser deformado. Originalmente Albert Atterberg definió seis límites de consistencia de suelos de grano fino, sin embargo, en la ingeniería se usan frecuentemente el límite líquido, el límite plástico, y en algunas referencias el límite de contracción (NTP 339 129, 1999).

- Límite líquido: Según la NTP 339.129 (1999) el límite líquido es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Dicho ensayo se realiza mediante el uso de la Copa de Casagrande, donde arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en la distancia de 13 mm (1/2 pulgada) cuando se deja caer la copa 25 veces una altura de 1cm a razón de dos caídas por segundo.
- Límite plástico: Según la NTP 339.129 (1999) el límite plástico es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados plásticos y semisólido. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad más bajo al cual el suelo puede ser rolado en hilo de 3,2mm. (1/8 pulgada) sin que se rompan en pedazos.
- Índice de plasticidad: Es el rango de contenido de humedad sobre el cual un suelo se comporta plásticamente. Numéricamente es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico (NTP 339.129, 1999).
- Ensayo de compactación proctor: Este método cubre los procedimientos de compactación en laboratorio que se utilizan para determinar las relaciones entre el contenido de agua y el peso unitario seco de los suelos (NTP 141, 1999). Existen tres procedimientos. El procedimiento que se utilizará deberá realizarse como se indica en la especificación para el material a ensayar, si no se indica ningún procedimiento, la elección del procedimiento se basará en la gradación del material.

Para la determinación de la resistencia a compresión y flexión de las unidades de adobe compactado, se consideró lo estipulado en la Norma ASTM C-67, la cual establece el método de prueba de ensayo y prueba de ladrillos de arcilla estructurales.

## 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Tabla 5. *Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos*

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS	PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS
Conjunto de instrumentos para la recolección de datos de los ensayos a realizar	Protocolos normalizados UPN	Contenido de humedad
		Análisis granulométrico
		Límite líquido y límite plástico
		Proctor modificado
		Resistencia a la compresión
		Resistencia a la flexión

## 2.5. procedimiento

### 2.5.1. Obtención e identificación de materiales

La extracción de suelo se realizó mediante la excavación manual en el caserío Aylambo Bajo - Cajamarca con apoyo de los moradores de la zona. Asimismo, se realizó el cuarteo in-situ para la elección de la muestra representativa y realizar así su posterior estudio en laboratorio.

El transporte del material desde la cantera Aylambo Bajo (ver ubicación en anexo N° 3) hasta la Universidad privada del Norte, se realizó en bolsas cubiertos por sacos de polietileno para no alterar su humedad y evitar alteraciones en los resultados.

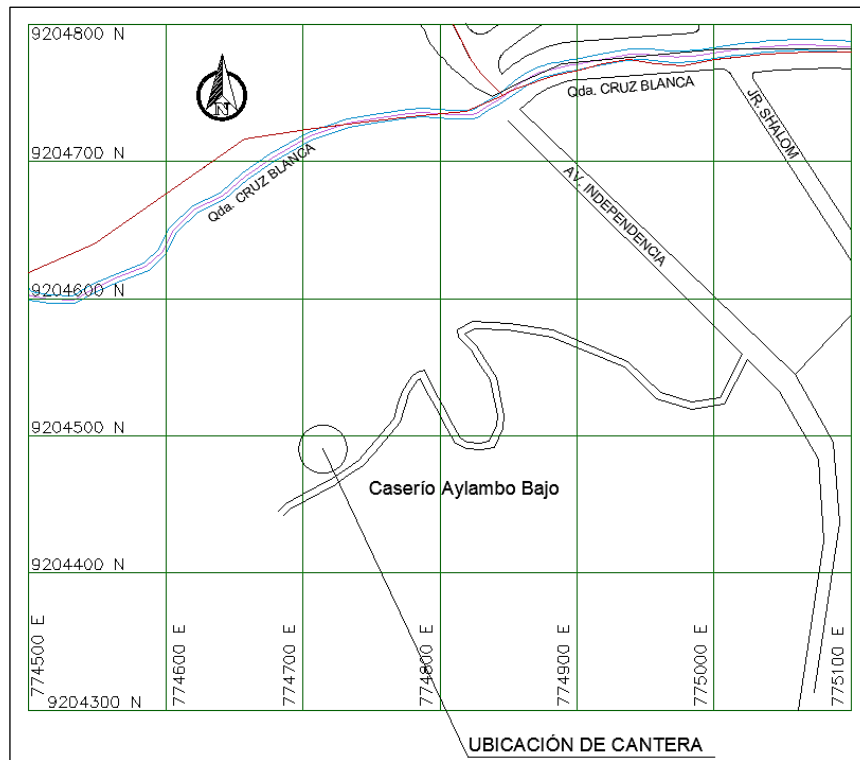


Figura 4. Ubicación de cantera  
Fuente: Catastro MPC, 2013.

Departamento: Cajamarca  
 Provincia: Cajamarca  
 Distrito: Cajamarca  
 Caserío: Aylambo Bajo.

#### Coordenadas UTM de la cantera

Este: 774714.42  
 Norte: 9204490.36

#### Zona

17M

#### Datum

WGS 84

#### 2.5.2. Estudio de suelos

Se realizó el estudio de suelos en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte, así como los diferentes ensayos para su clasificación.



*Figura 5.* Preparación de la tierra para los respectivos ensayos

#### 2.5.3. Ensayo de contenido de humedad

Para el contenido de humedad se colocó en bolsas y sacos para no alterar su humedad, este ensayo se realizó siguiendo la norma NTP 339.127, 1998.



*Figura 6.* Colocación de la muestra en el horno para la determinación del contenido de humedad.

#### 2.5.4. Análisis granulométrico por lavado

Este ensayo se basa en la separación del suelo previamente lavado en el tamiz N° 200 y secado en el horno. Esto nos permitió conocer la distribución de tamaño de las partículas del suelo (NTP 339.128, 1999).





*Figura 7.* Colocación del material lavado en el horno.



*Figura 8.* Realización del análisis granulométrico mediante el uso del juego de mallas para suelo fino.

#### 2.5.5. Límites de consistencia o Atterberg

Se realizó el ensayo de límite líquido, límite plástico y por diferencias se calculó el índice de plasticidad siguiendo la norma (NTP 339.129, 1999).

Este ensayo se utilizó para la clasificación del suelo.



*Figura 9.* Determinación del límite mediante el uso de la Copa de Casagrande

#### 2.5.6. Ensayo de proctor modificado

Para este ensayo se secó el material durante 5 días y se utilizó el método A del proctor modificado, según los resultados del ensayo granulométrico. Todos los procedimientos se realizaron siguiendo la norma (NTP 339-141, 1999).



*Figura 10.* Determinación del peso del molde del Proctor



Figura 11. Ensayo Proctor modificado con adición de 8% y 10% de ceniza de biomasa arbórea.

#### 2.5.7. Elaboración del adobe compactado

Para la elaboración de adobe se adecuó un lugar propicio, que permita realizar los procedimientos de manera correcta, y obtener así un adecuado cuidado y curado de la unidad.

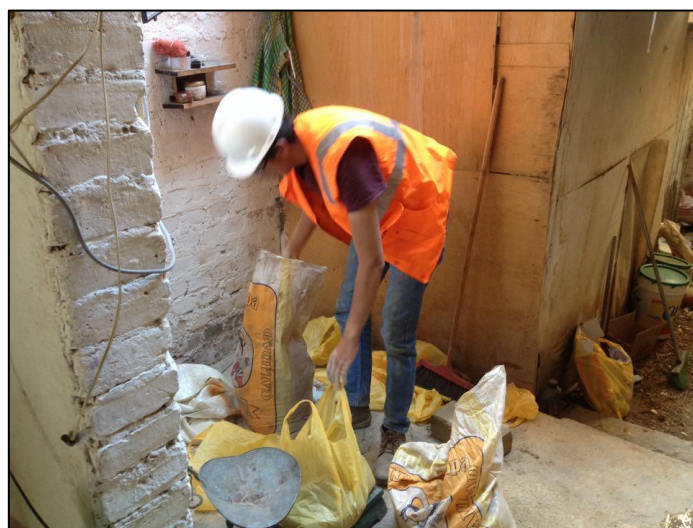


Figura 12. Preparación del material para la elaboración del adobe compactado.



*Figura 13.* Tamizado de la ceniza de eucalipto con el fin de separar las partículas del carbón.



*Figura 14.* Almacenamiento del material en el contenido óptimo de agua

Nota: El ensayo de proctor nos indica el óptimo contenido de humedad que deberá tener el suelo para lograr su máxima compactación. Esto se realizó tanto para la muestra patrón como para los adobes con ceniza de biomasa arbórea.

### 2.5.8. Máquina Cinva Ram

La prensa Cinva Ram consta de una caja o molde dentro del cual un pistón actuado por un dispositivo de palanca operado a mano, comprime la mezcla de tierra fresca para formar el bloque, al accionar la palanca en sentido inverso, el mismo pistón expulsa el bloque, el cual es retirado manualmente para ser puesto a curar bajo sombra (Mejía, 2014).

Para la realización de la unidad de adobe compactado se tuvo que dejar por el lapso de 24 horas el material humedecido con la cantidad óptima de agua, esto con el fin de que el agua pueda alcanzar a todas las partículas del material. Por ello, se almacenó en bolsas de polietileno para evitar que el agua pueda evaporarse.



*Figura 15.* Almacenamiento del material en el contenido óptimo de agua

Nota: El ensayo de proctor nos indica el óptimo contenido de humedad que deberá tener el suelo para lograr la máxima compactación. Esto se realizó tanto para la muestra patrón como para los adobes con ceniza de biomasa arbórea.



*Figura 16.* Elaboración del adobe compactado - muestra patrón.



*Figura 17.* Elaboración de las muestras con 8% de ceniza de biomasa arbórea.



*Figura 18.* Elaboración de las muestras con 10% de ceniza de biomasa arbórea.



*Figura 19.* Área de secado de las unidades de adobe compactado.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Contenido de humedad

Tabla 6. *Ensayo de contenido de humedad*

DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
Identificación del recipiente o tara		H - 1	H - 2	H - 3
Peso del recipiente	gr	37.40	36.90	36.80
Recipiente + Suelo Húmedo	gr	373.00	376.60	383.40
Recipiente + Suelo Seco	gr	352.40	355.50	361.80
Peso del suelo Húmedo (Ww) C - B	gr	335.60	339.70	346.60
Peso del agua	gr	20.60	21.10	21.60
Peso del suelo Seco (Ws) D - B	gr	315.00	318.60	325.00
Porcentaje de humedad (E / F) *100	%	6.54	6.62	6.64
Promedio porcentaje Humedad	%		6.60%	

Nota: Según el resultado del ensayo de contenido de humedad, el material presenta en promedio 6.60% de humedad

### 3.2. Límites de consistencia

Tabla 7. *Ensayo de limite liquido*

DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
Identificación de recipiente	Nº	L.L1	L.L2	L.L3
Suelo húmedo + recipiente	gr	29.50	28.90	29.90
Suelo seco + recipiente	gr	24.30	24.20	24.30
Peso del recipiente	gr	9.90	11.10	9.80
Peso del agua	gr	5.20	4.70	5.60
Peso suelo seco	gr	14.40	13.10	14.50
Número de golpes	N	24.00	33.00	19.00
Contenido de humedad	%	36.11	35.88	38.62



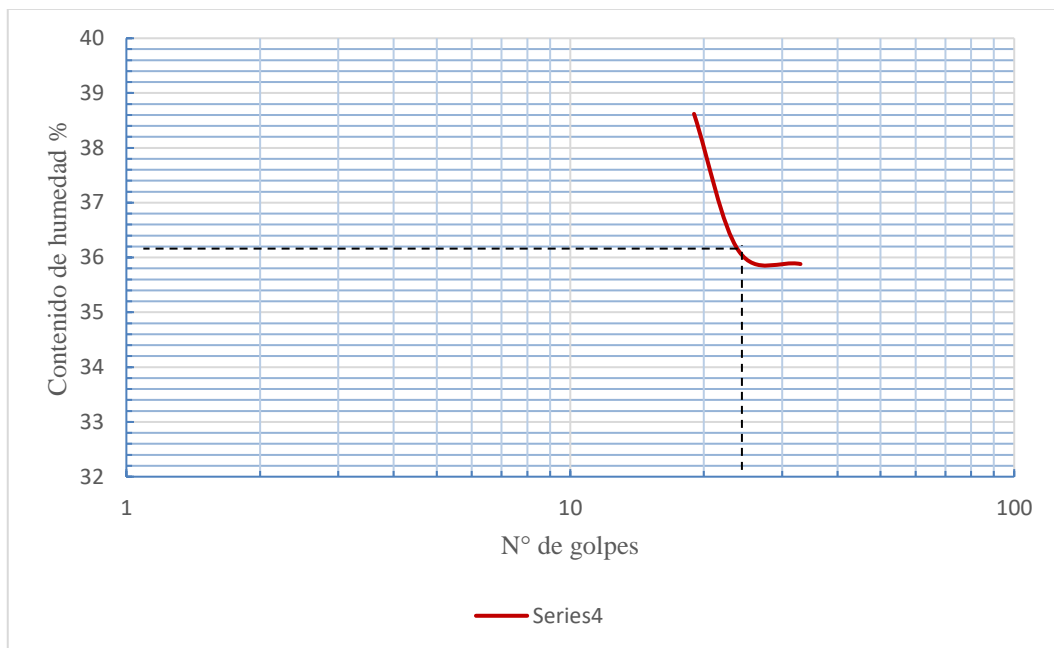


Figura 20. Determinación del límite líquido en la curva de fluidez.  
Nota: Del gráfico se obtuvo que, para 25 golpes, el límite líquido es: 36.10%.

Tabla 8. Determinación del límite plástico

DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
Identificación de recipiente	Nº	L.P1	L.P2	L.P3
Suelo húmedo + tara	gr	12.90	12.30	14.40
Suelo seco + tara	gr	12.40	11.90	13.90
Peso de la tara	gr	10.30	10.10	11.20
Peso del agua	gr	0.50	0.40	0.50
Peso suelo seco	gr	2.10	1.80	2.70
Contenido de humedad	%	23.8	22.22	18.52
Promedio límite plástico	%		21.52	

Nota: De la tabla se obtuvo el límite plástico: 21.52%  
El índice de plasticidad está dado por la diferencia entre límite líquido y el límite plástico  
Índice de plasticidad: 14.58%

### 3.3. Clasificación del suelo (SUCS)

MUESTRA: Caserío aylambo Bajo – distrito de Cajamarca.

Clasificación SUCS, según NTP 339.134, 1999.

- Más del 50% de la muestra pasa por la malla o tamiz N° 200.
- Mediante los índices de plasticidad ubicados en la Carta de Casagrande se logró determinar que para un límite líquido de 36.10% y un índice de plasticidad de 14.58%, corresponde un suelo denominado CL (arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas).

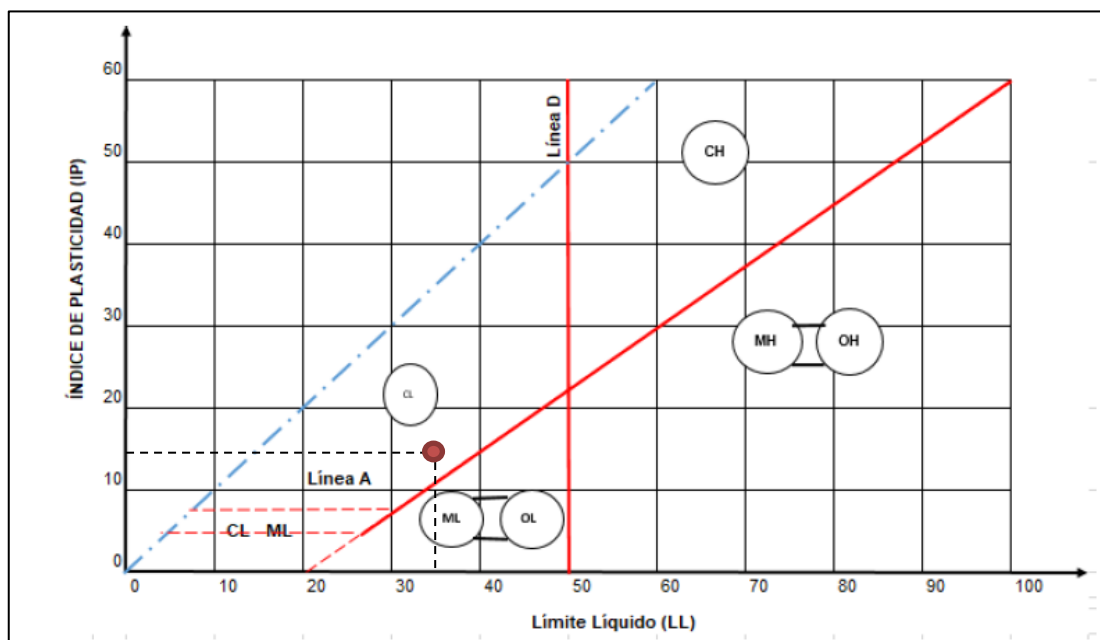


Figura 21. Carta de Casagrande  
Fuente: borselli, 2017.

### 3.4. Análisis granulométrico

Tabla 9. Análisis granulométrico

TAMIZ ASTM		PESO RETENIDO		% ACUMULADO	
Malla	apertura en(mm)	Gramos	%RP	%RA	% que pasa
N°4	4.76	6.90	0.69	0.69	99.31
N°10	2.00	83.10	8.31	9.00	91.00
N°20	0.84	81.00	8.10	17.10	82.90
N°30	0.59	32.00	3.20	20.30	79.70
N°40	0.42	26.00	2.60	22.90	77.10
N°60	0.25	40.10	4.01	26.91	73.09
N°100	0.15	41.10	4.11	31.02	68.98
N°200	0.074	43.60	4.36	35.38	64.62
	Cazuela	646.20	64.62	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		1000.00	100.00		

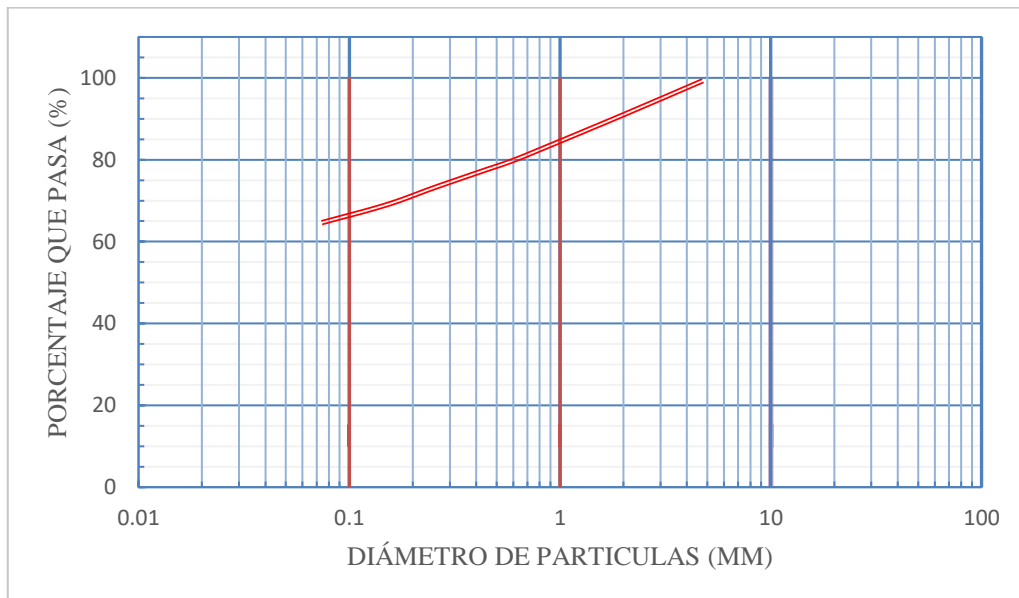


Figura 22. Curva granulométrica

### 3.5. Proctor modificado

Tabla 10. Proctor modificado de la muestra patrón

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4				
A	Peso molde	gr	4180	4180	4180	4180				
B	Peso muestra húmeda + molde	gr	6035	6105	6210	6230				
C	Peso muestra húmeda	gr	1855	1925	2030	2050				
D	Volumen muestra húmeda	cm <sup>3</sup>	937.21	937.21	937.21	937.21				
F	Densidad húmeda; Dh	gr/ cm <sup>3</sup>	1.98	2.05	2.17	2.19				
G	<b>Recipiente</b>	N°	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>		
H	Peso recipiente	gr	11.10	10.50	10.40	10.00	10.10	10.90	9.90	10.40
I	Peso muestra húmeda + recipiente	gr	104.50	27.10	35.10	32.00	61.70	25.40	30.60	39.80
J	Peso muestra seca + recipiente	gr	97.00	25.90	32.60	29.90	55.90	23.80	29.20	34.70
K	Peso del agua	gr	7.50	1.20	2.50	2.10	5.80	1.60	1.40	5.10
L	Peso Muestra seca	gr	85.90	15.40	22.20	19.90	45.80	12.90	19.30	24.30
M	Contenido de Humedad W%	%	8.73	7.79	11.26	10.55	12.66	12.40	7.25	20.99
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.26		10.91		12.53		14.12	
O	Densidad Seca Máxima; D <sub>s</sub>	gr/ cm <sup>3</sup>	1.83		1.85		1.92		1.92	

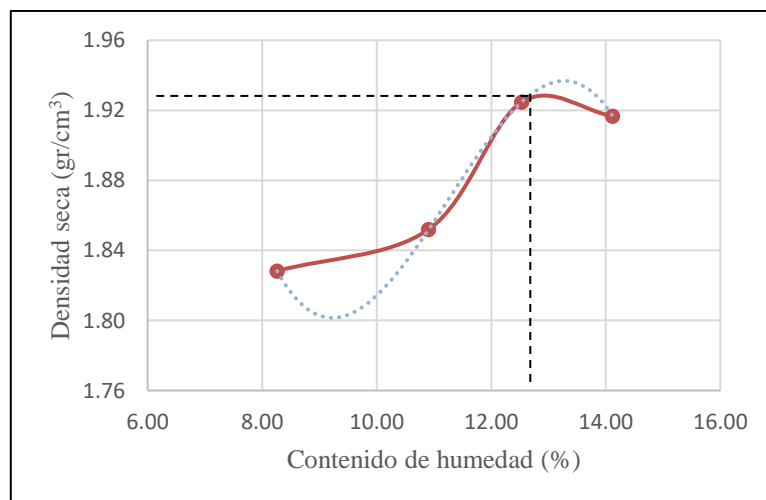


Figura 23. Curva para la determinación del contenido óptimo de humedad

Humedad Óptima (%)	13.00
Densidad Máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	1.93

Tabla 11. Proctor modificado para la muestra con 8% de ceniza de biomasa arbórea

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4				
A	Peso molde	gr	4180.00	4180.00	4180.00	4180.00				
B	Peso muestra húmeda + molde	gr	5985.00	6095.00	6125.00	6160.00				
C	Peso muestra húmeda	gr	1805.00	1915.00	1945.00	1980.00				
D	Volumen muestra húmeda	cm <sup>3</sup>	937.21	937.21	937.21	937.21				
F	Densidad húmeda: <b>Dh</b>	gr/cm <sup>3</sup>	1.93	2.04	2.08	2.11				
G	<b>Recipiente</b>	Nº	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
H	Peso recipiente	gr	11.20	10.90	10.40	10.00	10.40	10.00	9.90	10.10
I	Peso muestra húmeda + Recipiente	gr	35.20	19.40	25.20	21.20	23.70	21.70	31.20	26.10
J	Peso muestra seca + recipiente	gr	32.90	18.70	23.60	19.80	22.00	20.30	28.20	23.90
K	Peso del agua	gr	2.30	0.70	1.60	1.40	1.70	1.40	3.00	2.20
L	Peso muestra seca	gr	21.70	7.80	13.20	9.80	11.60	10.30	18.30	13.80
M	Contenido de humedad W%	%	10.59	8.97	12.12	14.29	14.65	13.59	16.39	15.94
N	Promedio contenido de humedad optimo	%	9.79		13.20		14.12		16.17	
O	Densidad seca máxima; <b>Ds</b>	gr/cm <sup>3</sup>	1.75		1.80		1.82		1.82	

Humedad Óptima (%)	14.20
Densidad Máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	1.82

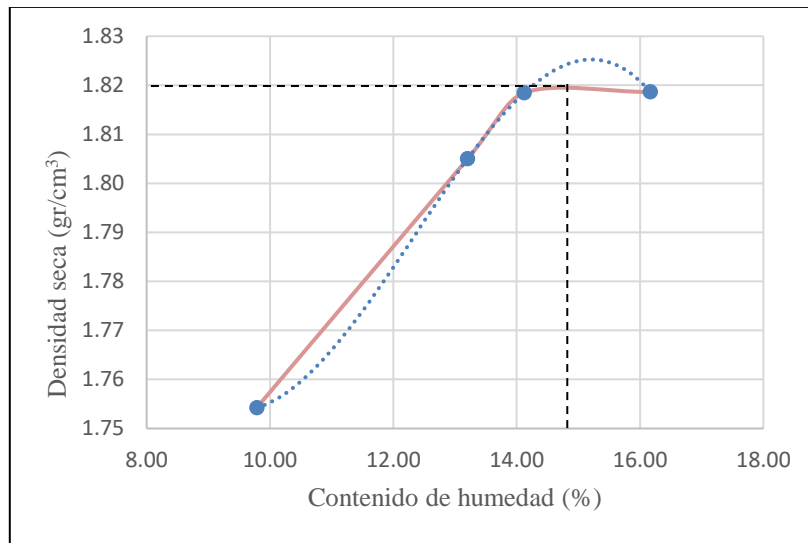


Figura 24. Proctor modificado para la muestra con 8% de ceniza de biomasa arbórea

Tabla 12. Proctor modificado para la muestra con 10% de ceniza de biomasa arbórea

DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4				
Peso molde	gr	4180.00	4180.00	4180.00	4180.00				
Peso muestra húmeda + molde	gr	6015.00	6080.00	6130.00	6150.00				
Peso muestra húmeda	gr	1835.00	1900.00	1950.00	1970.00				
Volumen muestra húmeda	cm <sup>3</sup>	937.21	937.21	937.21	937.21				
Densidad húmeda: Dh	gr/cm <sup>3</sup>	1.96	2.03	2.08	2.10				
Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
Peso recipiente	gr	37.00	72.80	10.40	11.20	11.10	11.60	11.70	11.80
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	53.20	82.60	24.70	21.80	31.50	22.50	40.10	29.20
Peso muestra seca + recipiente	gr	51.20	81.60	23.00	20.60	29.00	21.00	36.10	26.70
Peso del agua	gr	2.00	1.00	1.70	1.20	2.50	1.50	4.00	2.50
Peso muestra seca	gr	14.20	8.80	12.60	9.40	17.90	9.40	24.40	14.90
Contenido de humedad W%	%	14.08	11.36	13.49	12.77	13.97	15.96	16.39	16.78
Promedio contenido de humedad óptimo	%	12.72		13.13		14.96		16.59	
Densidad seca máxima; Ds	gr/cm <sup>3</sup>	1.74		1.79		1.81		1.80	

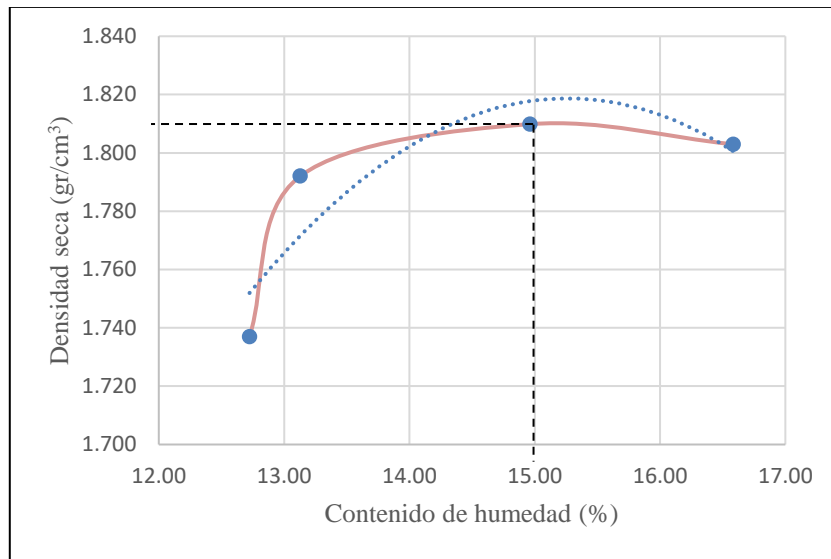


Figura 25. Proctor modificado de muestras con 10% de ceniza de biomasa arbórea

Humedad Óptima (%)	15.00
Densidad Máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	1.81

### 3.6. Resultados de los ensayos a compresión y flexión

Tabla 13. Resumen de la resistencia a la compresión del adobe compactado

Adobe	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
Muestra Patrón	12.62
C. biomasa arbórea 8%	6.13
C. biomasa arbórea 10%	4.56

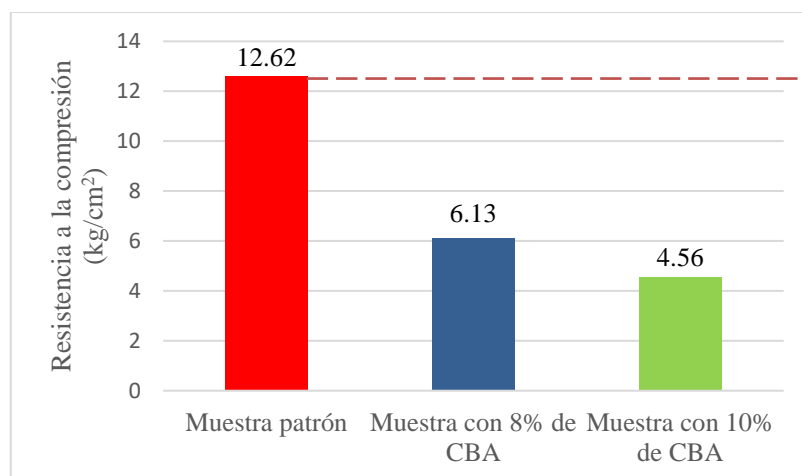


Figura 26 Resultados obtenidos de la resistencia a compresión de las unidades de adobe compactado

Tabla 14. *Resumen de la resistencia a la flexión del adobe compactado*

<b>ADOBE</b>	<b>RESISTENCIA (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Muestra patrón	3.71
C. biomasa arbórea 8%	3.82
C. biomasa arbórea 10%	3.69

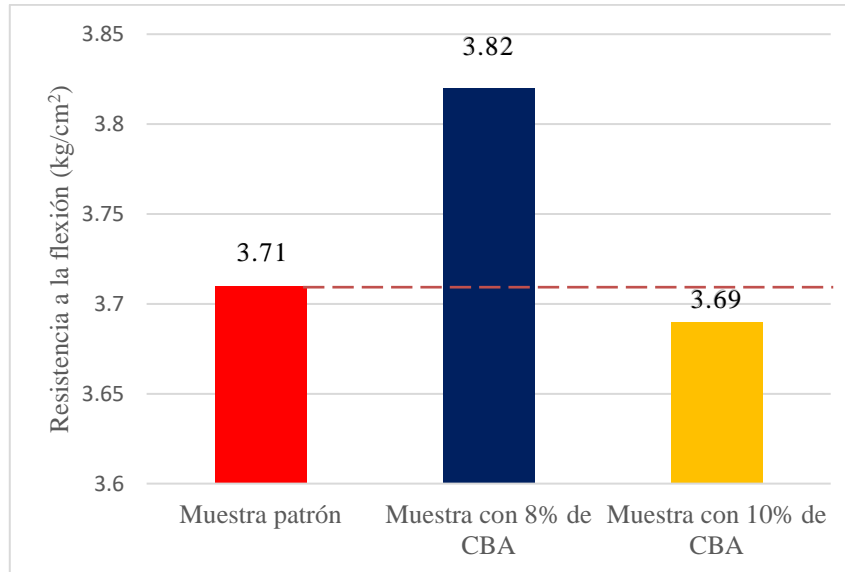


Figura 27. Resultados obtenidos de la resistencia a flexión de las unidades de adobe compactado



## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

1. El adobe compactado tradicional (muestra patrón), presento una resistencia de  $12.62 \text{ kg/cm}^2$ , el cual supera el esfuerzo a compresión mínimo requerido por la Norma E.080, el cual es  $12 \text{ kg/cm}^2$ .
2. La resistencia a compresión de los adobes compactados con incorporación de ceniza de biomasa arbórea, en niveles de 8% y 10%, presento valores de  $6.13 \text{ kg/cm}^2$  y  $4.56 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente, siendo menores al valor del adobe compactado de la muestra patrón ( $12.62 \text{ kg/cm}^2$ ).

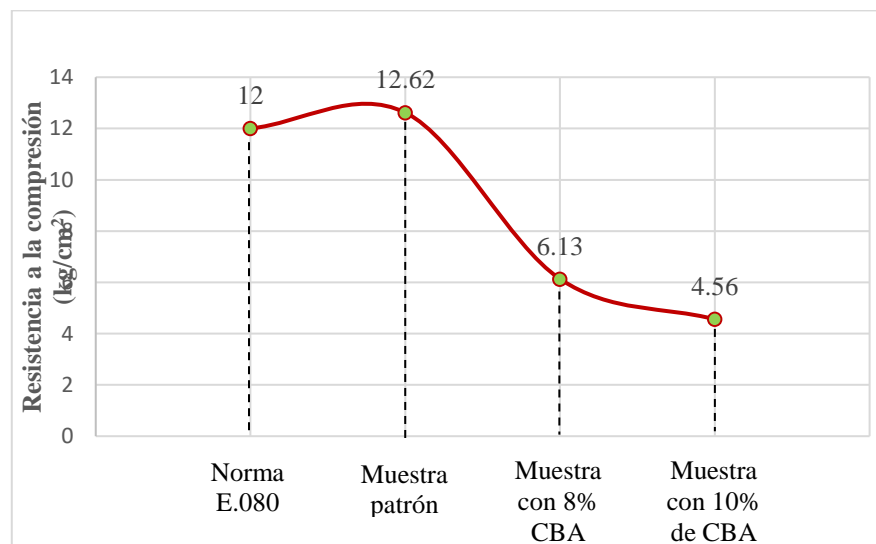


Figura 28. Tendencia de los resultados de la resistencia a compresión del adobe compactado

3. Según se muestra en la figura N° 29 podemos deducir que a medida que se aumenta los porcentajes de ceniza de biomasa arbórea (eucalipto) la resistencia a compresión del adobe compactado elaborado con suelo proveniente del caserío Aylambo Bajo, disminuye.
4. Respecto a la resistencia a flexión, las unidades de adobe compactado tradicional presentaron una resistencia de  $3.71 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que las unidades con 8% y

10% de ceniza de biomasa arbórea, presentaron resistencias de 3.82 kg/cm<sup>2</sup> y 3.69 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

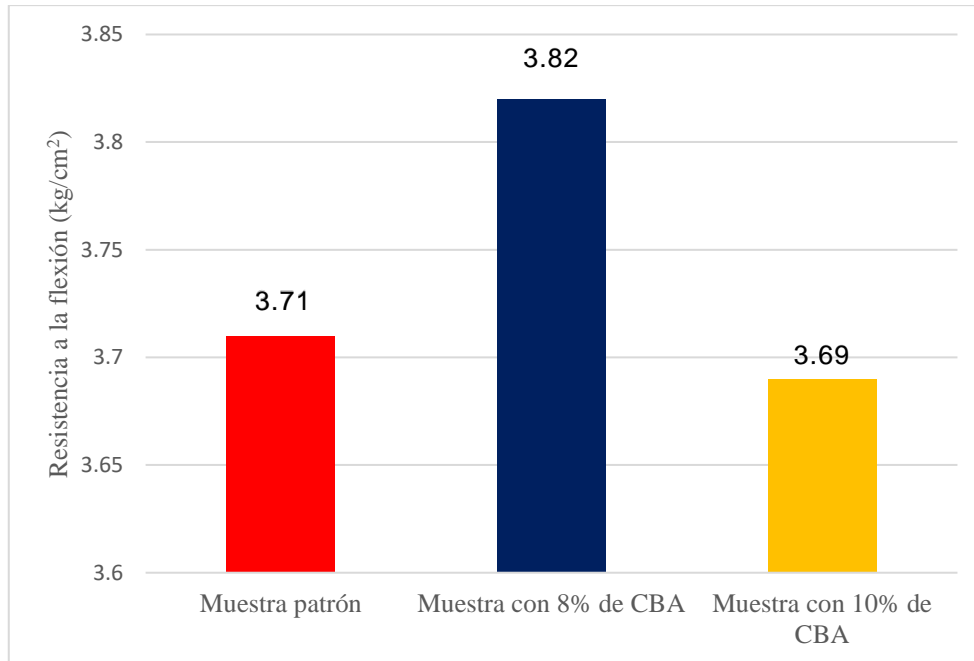


Figura 29. Tendencia de los resultados de la resistencia a flexión

5. Según se muestra en la figura N° 30 el adobe elaborado con 8% de ceniza de biomasa arbórea presenta un incremento de 2.96% respecto a la muestra patrón, sin embargo, la resistencia de la muestra con adición del 10% disminuye.
6. Con los resultados obtenidos del análisis granulométrico y de los límites de consistencia, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el suelo del caserío Aylambo Bajo, es de clasificación CL (arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas).
7. La resistencia a compresión en general de los adobes elaborados con suelo del caserío Aylambo y con los dos niveles de incorporación con ceniza de biomasa arbórea (eucalipto), es nulo el incremento de la resistencia en comparación con los resultados obtenidos en la investigación presentada en el artículo “Un estudio experimental sobre el uso de ceniza de eucalipto y polvo de granito en bloques

de barro estabilizado” de Sarvaswimi, Theertharama, Sharath y Kumar (2017) donde utilizó como adición ceniza de eucalipto, polvo de granito y cemento en proporciones menos al 8% , esto se puede evidenciar en sus bloques de tierra comprimida con adición 5% de cemento y 3% de ceniza de eucalipto el cual alcanzó una resistencia superior a  $30.59 \text{ kg/cm}^2$ . De esta manera, entre las dos investigaciones se puede deducir que utilizar la ceniza de biomasa arbórea (eucalipto) como único material estabilizador, no aporta mejoras a las propiedades mecánicas del adobe compactado.

#### **4.2. Recomendaciones**

1. Evaluar las propiedades mecánicas del adobe compactado adicionando porcentajes menores a los considerados en la presente investigación, ya que, según los resultados obtenidos, la resistencia a compresión y flexión disminuye mientras más ceniza arbórea se incorpora.
2. Evaluar el comportamiento de la ceniza de cascarilla de arroz, bagazo de caña en un suelo arcilloso.
3. Realizar nuevas investigaciones de adobe compactado considerando diferentes tipos de suelos y evaluar su influencia en las propiedades mecánicas.
4. Seguir con esta investigación en adobe compactado, utilizando nuevas incorporaciones que faciliten el proceso constructivo y generen sistemas de buena calidad a costos accesibles.

#### **4.3. conclusiones**

1. La hipótesis de la investigación no ha sido demostrada: La incorporación de ceniza de biomasa arbórea (eucalipto), en porcentajes de 8% y 10% en el adobe compactado elaborado con suelo del caserío Aylambo Bajo, no mejoran las

propiedades mecánicas, en la resistencia a la compresión, los adobes con 8% y 10% de ceniza biomasa arbórea, presentaron una disminución del 51.42% y 63.87% respectivamente en comparación al valor encontrado en los especímenes de la muestra patrón; en resistencia a la flexión, el adobe con 8% de ceniza de biomasa arbórea presentó un ligero incremento de 2.96% con respecto a la muestra patrón, sin embargo, el adobe con 10%, presentó una disminución del 0.54%. De esta manera, se puede afirmar que la incorporación de ceniza de biomasa arbórea no hace del adobe compactado un material más resistente, por lo que la hipótesis no se cumple.

2. Mediante los ensayos realizados en laboratorio, se clasificó al suelo mediante el uso el sistema SUCS, el cual establece que para un Límite líquido de 36.1% y un índice de plasticidad de 14.58% corresponde un suelo de grano fino CL (arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas).
3. La resistencia a compresión de los bloques de adobe compactado tradicional ensayado en mitades, fue de 12.62 kg/cm<sup>2</sup> siendo este valor mayor a lo que especifica la Norma E.080 – Adobe, el cual indica una resistencia mínima a compresión de 12 kg/cm<sup>2</sup>.
4. La resistencia a la compresión de los adobes elaborados con 8% y 10% de ceniza de biomasa arbórea fue de 6.13 kg/cm<sup>2</sup> y 4.56 kg/cm<sup>2</sup>, valores muy por debajo en comparación con los resultados de la muestra patrón.
5. La resistencia a flexión del adobe compactado tradicional fue de 3.71 kg/cm<sup>2</sup>, siendo éste relativamente similar a los valores del adobe elaborado con 8% (3.82 kg/cm<sup>2</sup>) y 10% (3.69 kg/cm<sup>2</sup>) con ceniza de biomasa arbórea.

## REFERENCIAS

1. ASTM C 618-08 (1989). Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete. Estados Unidos: 1° Edición.
2. Barbosa, W & Bernandin, M. (2014). *Utilización de cenizas de cáscara de arroz y de eucalipto en la composición de esmaltes crudos*. España: Qualicer'14.
3. Boletín de la Sociedad Geológica de Mexicana (2012). El adobe como material de construcción en la época prehispánica. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/scielo.php>.
4. Castro, A. (2017). *Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
5. Centro de estudios y experimentación de obras públicas (2011). *Cenizas procedentes de la incineración de biomasa*. España: CEDEX.
6. Fernández, M. (2012). *Resistencia a Compresión de Bloques de Tierra Comprimida Estabilizada con Materiales de Sílice de Diferente Tamaño De Partícula*. (Tesis de Máster). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
7. Gallegos, H. & Casabonne, C. (2005). *Albañilería estructural*. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
8. Geotecnia I (2018). *Clasificación ingenieril de los suelos y de los macizos rocosos*. Recuperado de [https://www.lorenzoborselli.eu/geotecnia1/Geotecnia\\_1\\_parte\\_II.pdf](https://www.lorenzoborselli.eu/geotecnia1/Geotecnia_1_parte_II.pdf).
9. Hurtado, P. (2016). Aprovechamiento de residuos de biomasa secundaria como combustible. *En revista científica Ingenium* 1(1) 2016, 1-5.

10. Instituto Nacional de Estadística e Informática (2014). *Informe de Resultados del Censo de Vivienda y Construcción - Material de sus Paredes*. Lima: Inei.
11. International Association For Eartquake Engineering (2003). *Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos*. Recuperado de <http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/06/>.
12. Méndez, R. (2009). *Diseño de tejas prefabricadas de bajo coste que incorporan residuos industriales de carácter puzolánico para uso en países en vías de desarrollo*. España: Universidad Politécnica de Valencia.
13. Mejía, I. (2014). *Adobe estabilizado y compactado en Cajamarca*. (Tesis de pregrado), Universidad Privada del norte, Perú.
14. Municipalidad Provincial de Cajamarca (2013). *Plano Catastral de Cajamarca*. Cajamarca: MPC.
15. Morales, V., Ortiz, M. y Álvarez, R. (2007). *Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado*. México: Santa Cruz Xoxocotlán.
16. NTP 339.128. (1999). *Método de ensayo para el Análisis Granulométrico*. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales. Lima, Perú: 1° Edición.
17. NTP 339.127. (1999). *Método de prueba normalizado para la determinación del contenido de humedad*. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales. Lima, Perú: 1° Edición.
18. NTP 339.129. (1999). *Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos*. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales. Lima-Perú: 1° Edición.
19. NTP 339.142. (1999). *Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía estándar*. Lima-Perú.

20. Pérez, C. (2014). *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
21. Reglamento nacional de edificaciones (2006). *Norma E.080 adobe*. Perú: RNE.
22. Sánchez, R., Soria, F., (2015). *Innovación Tecnológica y Saber Tradicional: BTC y Adobe, Desarrollos Paralelos en la Cultura Constructiva*. Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra. Ecuador
23. Sarvaswini, H., Theertharama, N., Sharath, M. y Kumar, A. (2017). An Experimental Study on the Use of Eucalyptus Ash and Granite Cut Dust in Stabilised Mud Blocks. *En revista científica International Journal for Research Trends and Innovation*, 2(6) pp.2456-3315.
24. Siccha, J. (2017). *Resistencia de adobe con adición de 4%, 6% y 8% de ceniza de coronta de maíz, centro poblado Vinzos-Santa*. (Tesis de Pregrado), Universidad San Pedro, Perú.
25. Solla-Gullón, F., Taboada, M., Rodriguez-Salleiro, & Merino, A. (2004). *Respuesta inicial del aporte de cenizas de biomasa arbórea en el estado nutricional de una plantación joven de pinus radiata D. Don*. España: Universidad de Santiago de Compostela.
26. Subramaniam, P., Subasinghe, W. y Fonseka K. (2015). Wood Ash As An Effective Raw Material For Concrete Blocks. *En revista científica International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(2) pp.2321-7308.
27. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2004). *World Heritage List*. Recuperado de <http://whc.unesco.org/en/list/1208>.
28. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (1992). *World Heritage List*. Recuperado de <http://whc.unesco.org/en/list/492>.

29. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (1996). *World Heritage List*. Recuperado de <http://whc.unesco.org/en/list/366>.
30. Vargas, Y., Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *En revista Facultad de Ciencias Básicas, 14(1) 2018, 1-14*.
31. Villegas, C. (2012). *Utilización de puzolanas naturales en la elaboración de prefabricados con base cementicia destinados a la construcción de viviendas de bajo*. (Tesis de Maestría), Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.



## ANEXO N° 1. PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía N° 1. Extracción del material en el caserío Aylambo Bajo - distrito de Cajamarca



Fotografía N° 2. Ensayo de contenido de humedad en el en el laboratorio de concreto de la  
Universidad Privada del Norte



Fotografía N° 3. Ensayo de granulometría en el laboratorio de concreto de la Universidad Privada del Norte



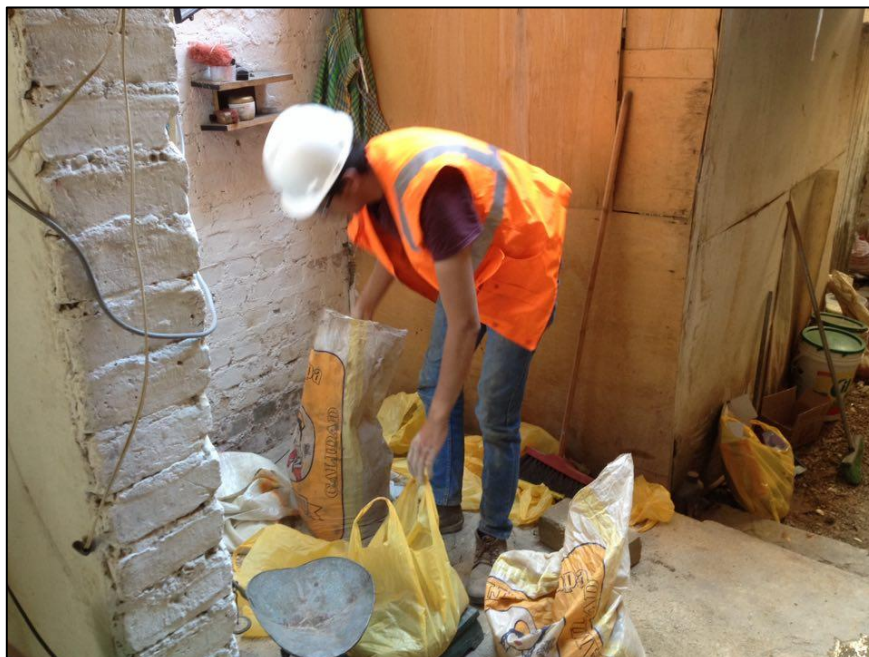
Fotografía N° 4. Ensayo proctor modificado adicionando 8% y 10% de ceniza de biomasa arbórea



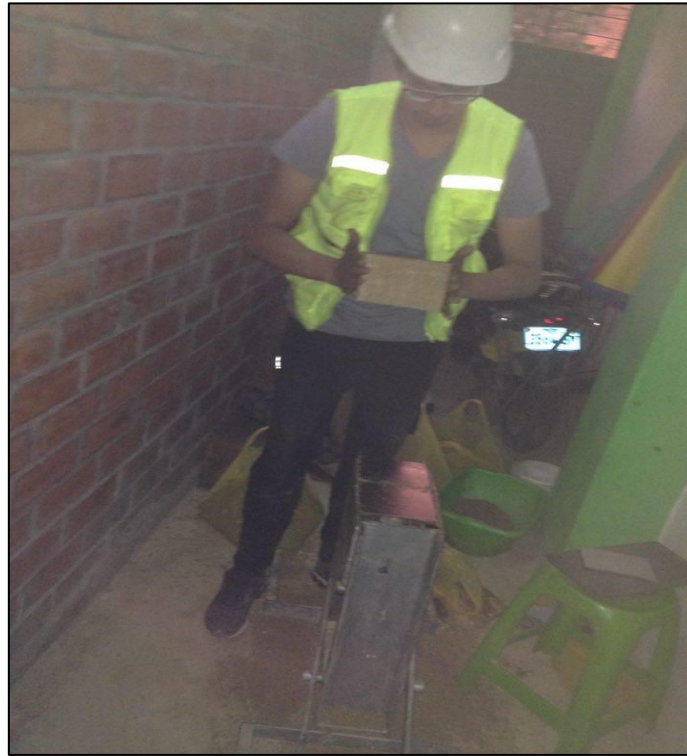
Fotografía N° 5. Tamizado de la ceniza de biomasa arbórea para su adecuada unificación



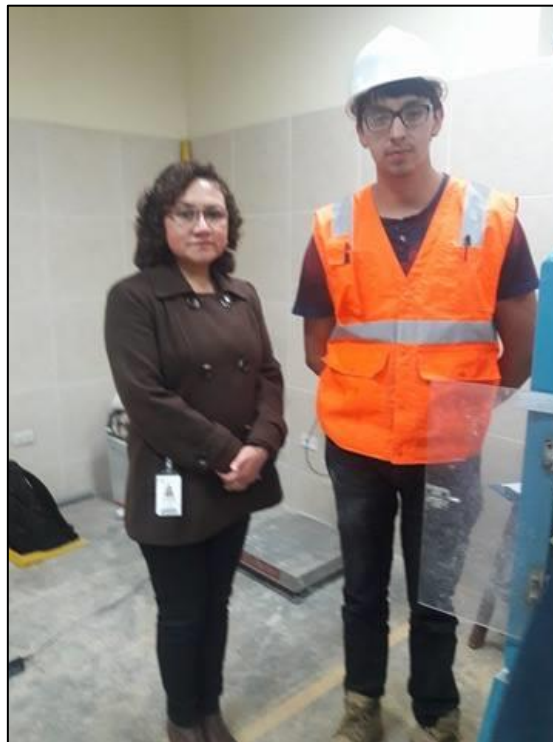
Fotografía N° 6. Preparación del material para la elaboración del adobe compactado con  
8% y 10% de ceniza de biomasa arbórea



Fotografía N° 7. Elaboración de los adobes compactados para la muestra patrón.



Fotografía N° 8. Ensayo a la flexión de la muestra patrón en presencia de la Ing. Anita Alva Sarmiento, asesora de tesis



Fotografía N° 9. Ensayo a compresión con el apoyo del laboratorista el Sr. Víctor Cuzco Minchan



Fotografía N° 10. Ensayo a flexión con 8% de ceniza de biomasa arbórea



Fotografía N° 11. Lectura de deformaciones en la unidad de adobe



Fotografía N° 12. Ensayo a compresión de la muestra patrón



Fotografía N° 13. Ensayo a flexión de la muestra patrón N° 3



## ANEXO N° 2. MEMORIA DE CÁLCULO

### Ensayo a compresión de la muestra patrón.

Tabla N° 1. Dimensiones de las muestras patrón para el ensayo a compresión

NÚMERO	A	L	H	ÁREA	UND
1	15.70	15.00	10.40	235.50	cm <sup>2</sup>
2	15.70	14.25	10.10	223.73	cm <sup>2</sup>
3	15.70	15.00	10.30	235.50	cm <sup>2</sup>
4	15.60	14.30	10.40	223.08	cm <sup>2</sup>
5	15.50	15.50	10.30	240.25	cm <sup>2</sup>
6	15.60	14.25	10.10	222.30	cm <sup>2</sup>

Tabla N° 2. Resistencia a la compresión de la muestra patrón N° 1

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	0.55	2.123	0.053
3	1000	1.00	4.246	0.010
4	1500	1.45	6.369	0.014
5	2000	1.82	8.493	0.018
6	2500	2.10	10.616	0.020
7	3000	2.38	12.739	0.023
8	3500	2.60	14.862	0.025
9	4000	2.90	16.985	0.028
10	4500	3.20	19.108	0.031
11	5000	3.65	21.231	0.035
12	5500	4.33	23.355	0.042



Figura N° 1. Esfuerzo - deformación muestra patrón N° 1

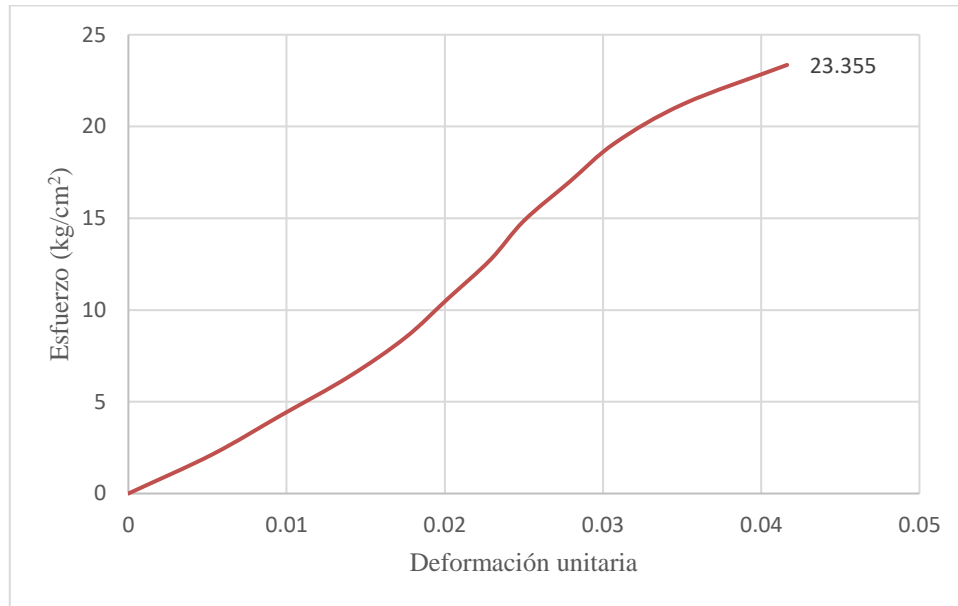


Tabla N° 3. Resistencia a la compresión de la muestra patrón N° 2

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	0.36	2.235	0.004
3	1000	0.87	4.470	0.009
4	1500	1.28	6.705	0.013
5	2000	1.73	8.940	0.017
6	2500	2.07	11.174	0.020
7	3000	2.29	13.409	0.023
8	3500	2.61	15.644	0.026
9	4000	2.83	17.879	0.028
10	4500	3.53	20.114	0.035
11	5000	3.68	22.349	0.036

Figura N° 2. Esfuerzo - deformación muestra patrón N° 2

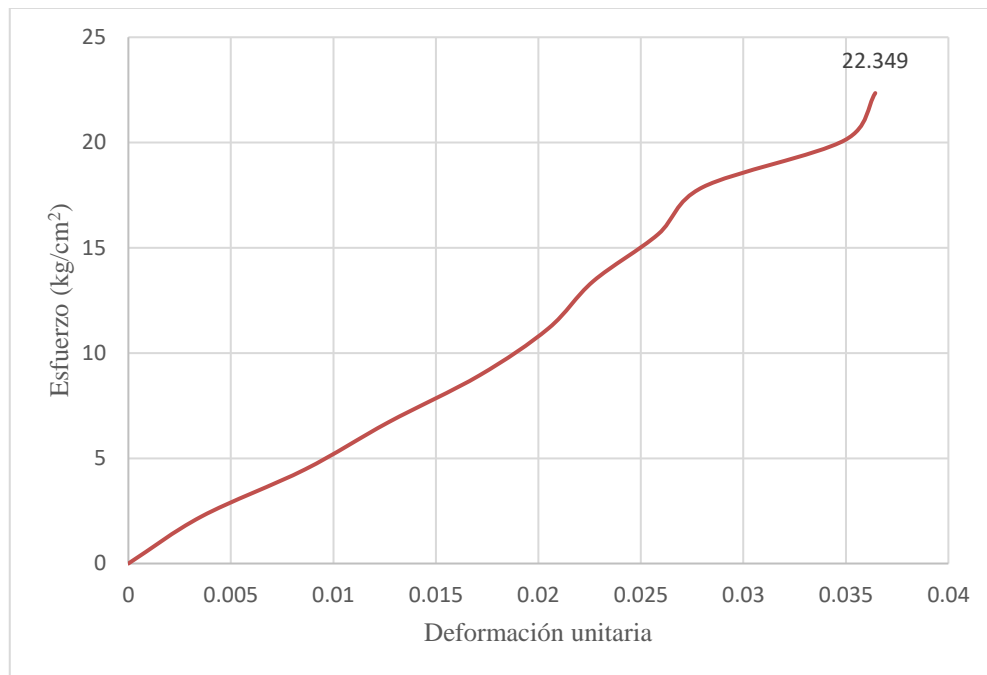


Tabla N° 4. Resistencia a la compresión de la muestra patrón N° 3

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	0.40	2.123	0.004
3	1000	0.85	4.246	0.008
4	1500	1.35	6.369	0.013
5	2000	1.85	8.493	0.018
6	2500	2.10	10.616	0.020
7	3000	2.35	12.739	0.023
8	3500	2.60	14.862	0.025
9	4000	2.85	16.985	0.028
10	4500	3.55	19.108	0.034
11	5000	3.72	21.231	0.036

Figura N° 3. Esfuerzo - deformación muestra patrón N° 3

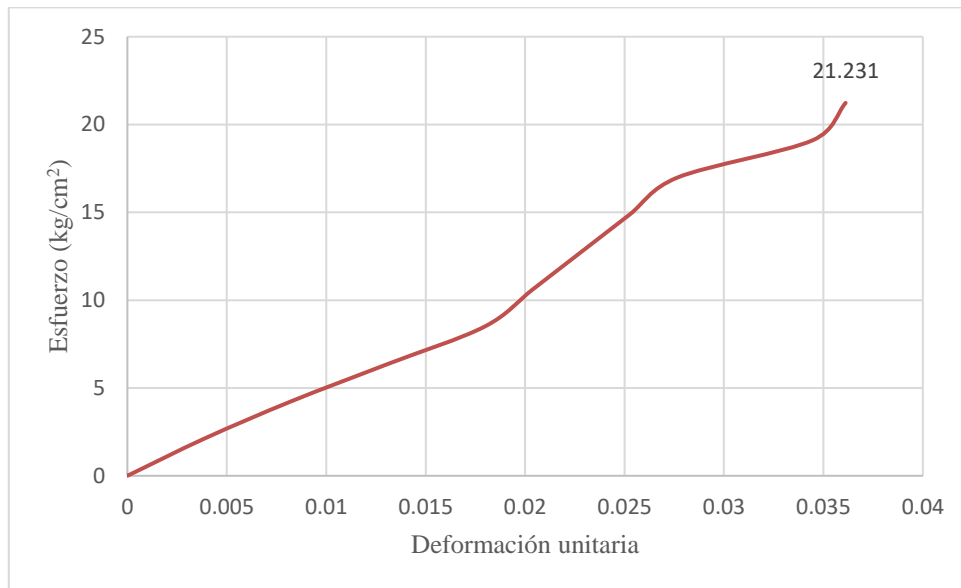


Tabla N° 5. Resistencia a la compresión de la muestra patrón N° 4

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm²)	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	0.38	2.241	0.004
3	1000	0.75	4.483	0.007
4	1500	1.12	6.724	0.011
5	2000	1.53	8.965	0.015
6	2500	1.82	11.207	0.018
7	3000	2.10	13.448	0.020
8	3500	2.37	15.689	0.023
9	4000	2.62	17.931	0.025
10	4500	2.93	20.172	0.028
11	5000	3.17	22.413	0.030
12	5500	3.40	24.655	0.033

Figura N° 4. Esfuerzo - deformación muestra patrón N° 4

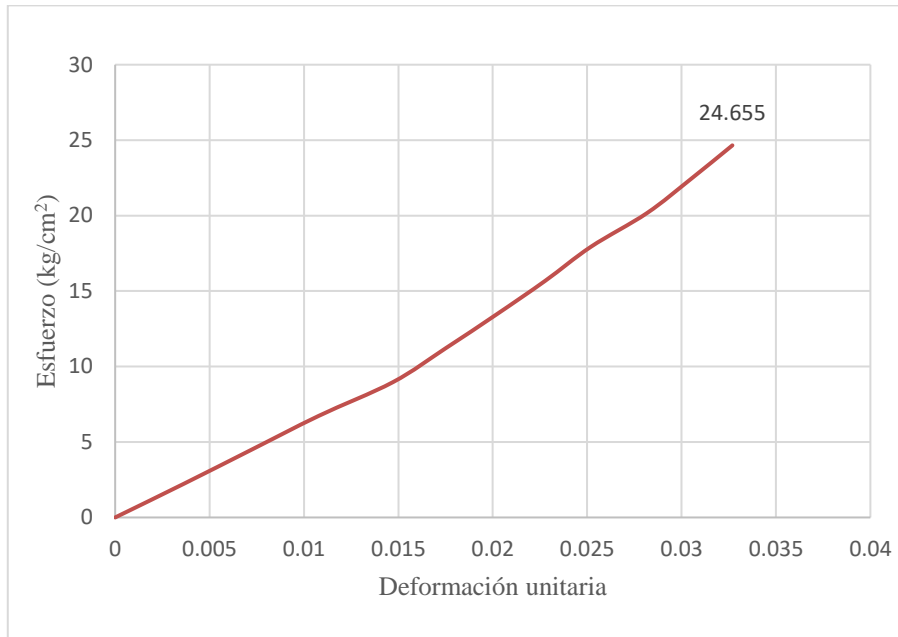


Tabla N° 6. Resistencia a la compresión de la muestra patrón N° 5

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	0.58	2.081	0.006
3	1000	1.10	4.162	0.011
4	1500	1.45	6.243	0.014
5	2000	1.75	8.325	0.017
6	2500	2.05	10.406	0.020
7	3000	2.35	12.487	0.023
8	3500	2.55	14.568	0.025
9	4000	2.85	16.649	0.028
10	4500	3.15	18.730	0.031
11	5000	3.40	20.812	0.033
12	5500	3.63	22.893	0.035

Figura N° 5. Esfuerzo - deformación muestra patrón N° 5

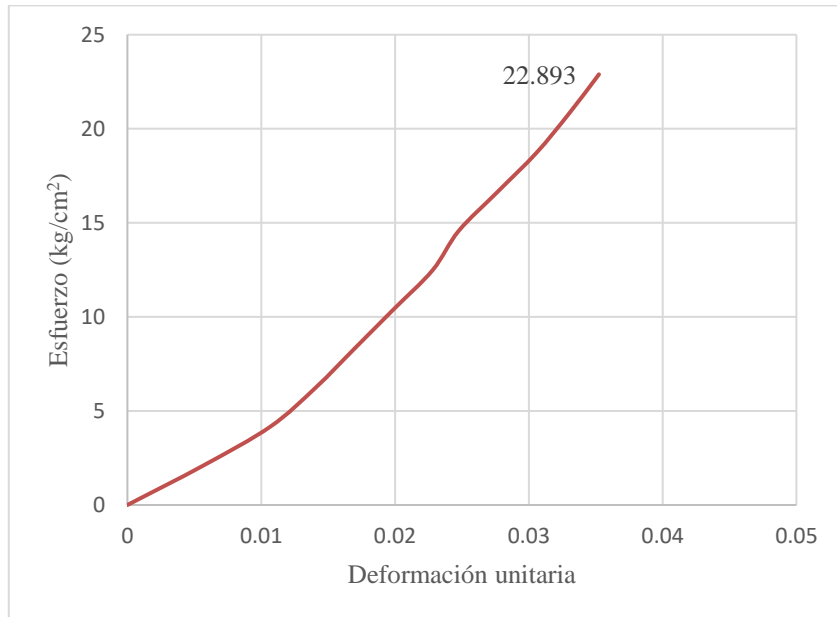
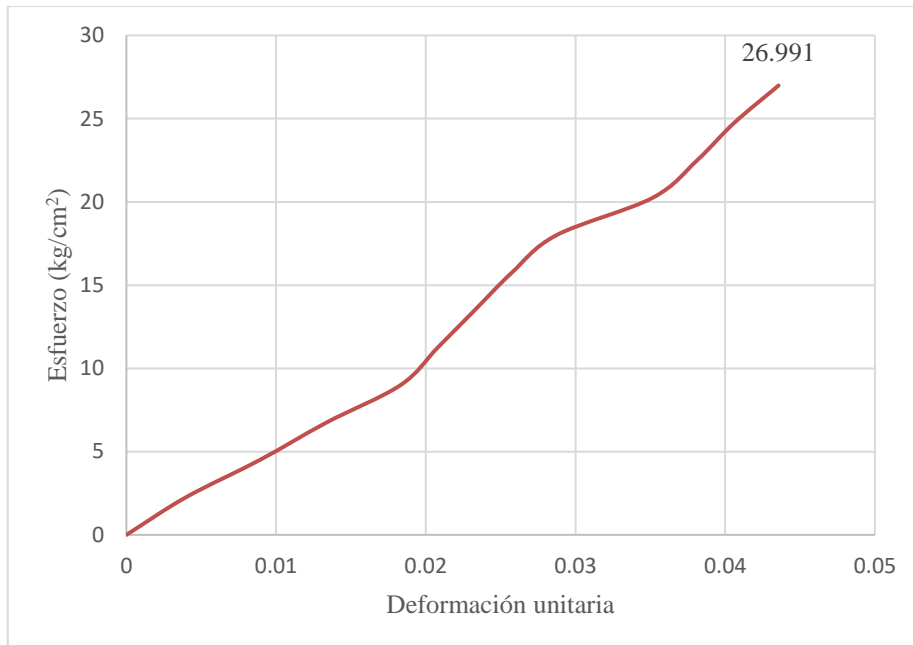


Tabla N° 7. Resistencia a la compresión de la muestra patrón N° 6

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm²)	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	0.40	2.249	0.004
3	1000	0.90	4.498	0.009
4	1500	1.35	6.748	0.013
5	2000	1.85	8.997	0.018
6	2500	2.10	11.246	0.021
7	3000	2.35	13.495	0.023
8	3500	2.60	15.744	0.026
9	4000	2.90	17.994	0.029
10	4500	3.55	20.243	0.035
11	5000	3.85	22.492	0.038
12	5500	4.10	24.741	0.041
13	6000	4.40	26.991	0.044

Figura N° 6. Esfuerzo - deformación muestra patrón N° 6



### Ensayo a flexión de la muestra patrón

Tabla N° 8. Dimensiones de las muestras patrón para ensayo a flexión

NÚMERO	A	L	H	ÁREA	UND
N°1	15.80	29.80	10.30	470.84	cm <sup>2</sup>
N°2	15.90	29.60	10.30	470.64	cm <sup>2</sup>
N°3	15.80	29.80	10.30	470.84	cm <sup>2</sup>
N°4	15.80	29.60	10.20	467.68	cm <sup>2</sup>
N°5	15.80	29.80	10.30	470.84	cm <sup>2</sup>
N°6	15.90	29.90	10.20	475.41	cm <sup>2</sup>

Tabla N° 9. Resistencia a la flexión de la muestra patrón N° 1

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	50	0.12	0.821	0.001
3	100	0.24	1.643	0.002
4	150	0.33	2.464	0.003
5	200	0.42	3.285	0.004
6	250	0.50	4.106	0.005
7	300	0.90	4.928	0.009
8	350	1.55	5.749	0.015
9	400	1.75	6.570	0.017

Figura N° 7. Esfuerzo - deformación muestra patrón N° 1

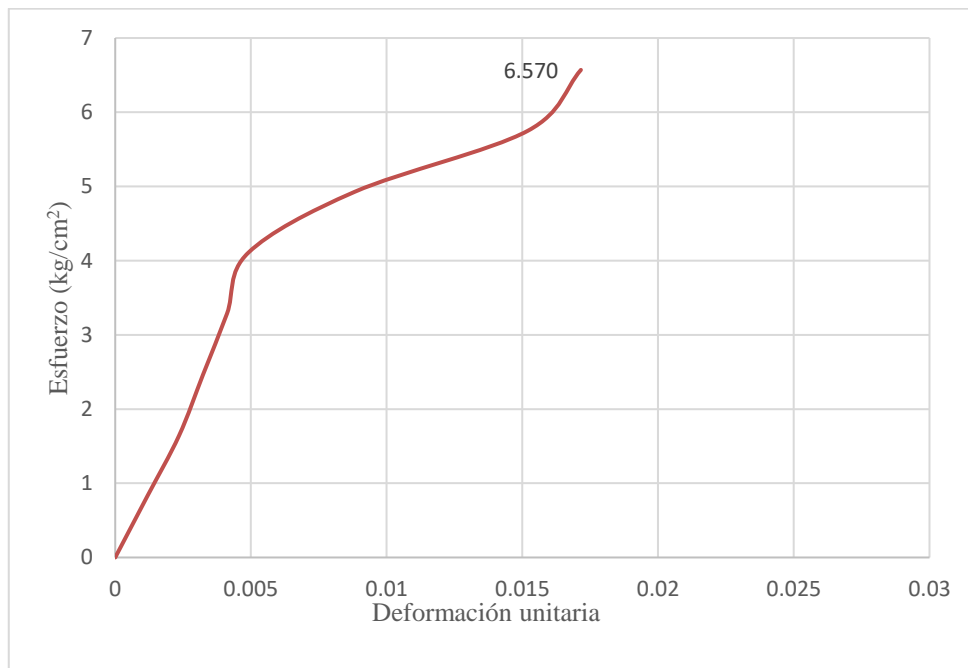


Tabla N° 10. Resistencia a la flexión de la muestra patrón N° 2

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	50	0.14	0.816	0.001
3	100	0.19	1.632	0.002
4	150	0.24	2.448	0.002
5	200	0.32	3.264	0.003
6	250	0.55	4.080	0.005
7	300	0.96	4.897	0.009
8	350	1.45	5.713	0.014
9	400	1.67	6.529	0.016

Figura N° 8. Esfuerzo - deformación muestra patrón N° 2

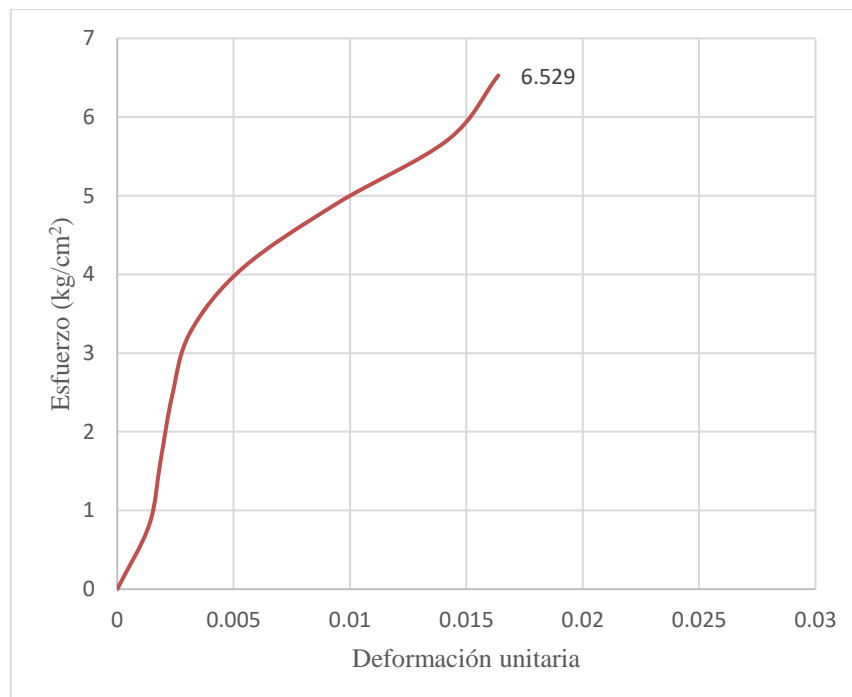




Tabla N° 11. Resistencia a la flexión de la muestra patrón N° 3

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	50	0.30	0.805	0.003
3	100	0.55	1.611	0.005
4	150	0.60	2.416	0.006
5	200	1.10	3.222	0.011
6	250	1.40	4.027	0.014
7	300	1.55	4.832	0.015
8	350	1.63	5.638	0.016
9	400	1.78	6.443	0.017

Figura N° 9. Esfuerzo - deformación muestra patrón N° 3

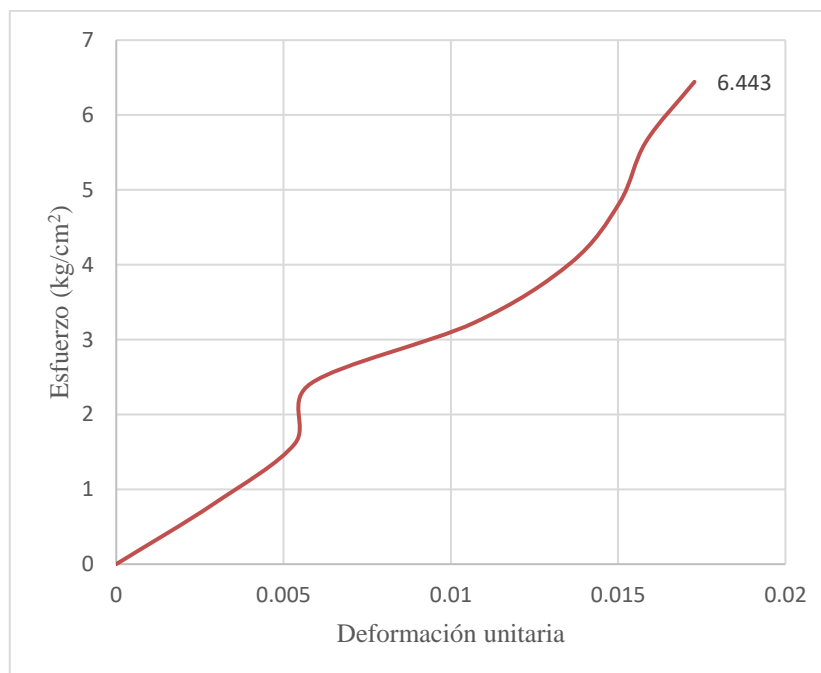


Tabla N° 12. Resistencia a la flexión de la muestra patrón N° 4

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	50	0.09	0.805	0.001
3	100	0.25	1.611	0.002
4	150	0.40	2.416	0.004
5	200	0.70	3.222	0.007
6	250	0.95	4.027	0.009
7	300	1.20	4.832	0.012
8	350	1.55	5.638	0.015
9	400	1.89	6.443	0.018
10	450	2.03	7.248	0.020

Figura N° 10. Esfuerzo - deformación muestra patrón N° 4

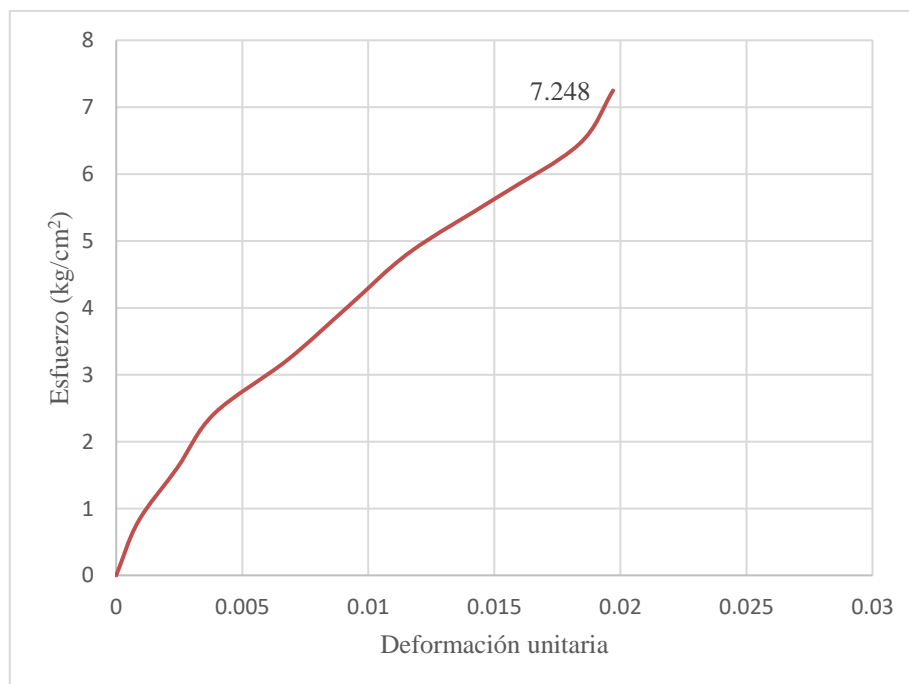


Tabla N° 13. Resistencia a la flexión de la muestra patrón N° 5

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	50	0.10	0.805	0.001
3	100	0.24	1.611	0.002
4	150	0.43	2.416	0.004
5	200	0.66	3.222	0.006
6	250	0.79	4.027	0.008
7	300	0.94	4.832	0.009
8	350	1.09	5.638	0.011
9	400	1.25	6.443	0.012
10	450	1.32	7.248	0.013

Figura N° 11. Esfuerzo - deformación muestra patrón N° 5

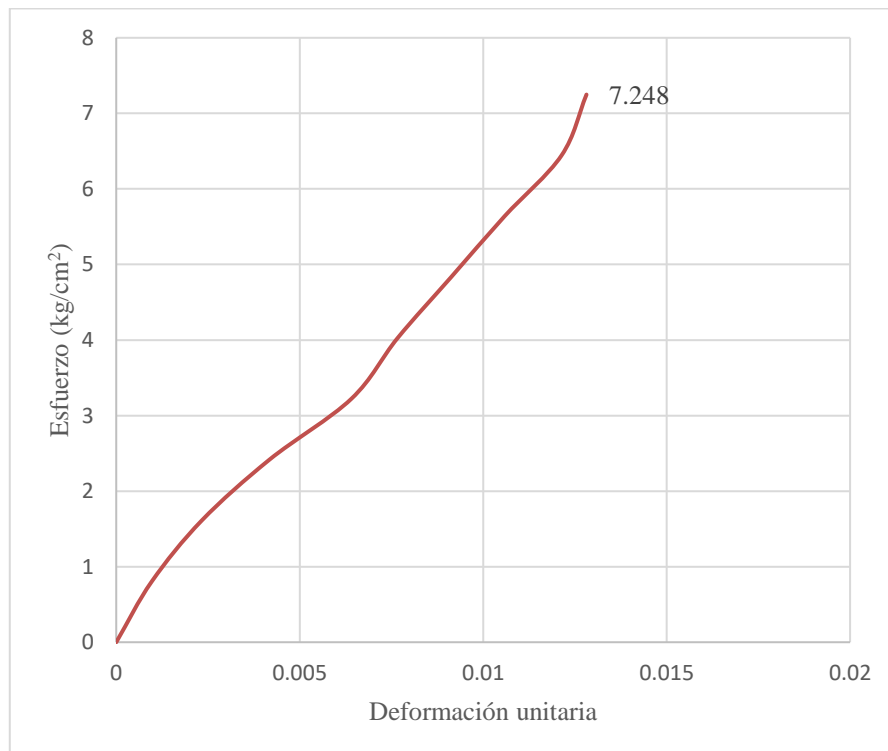
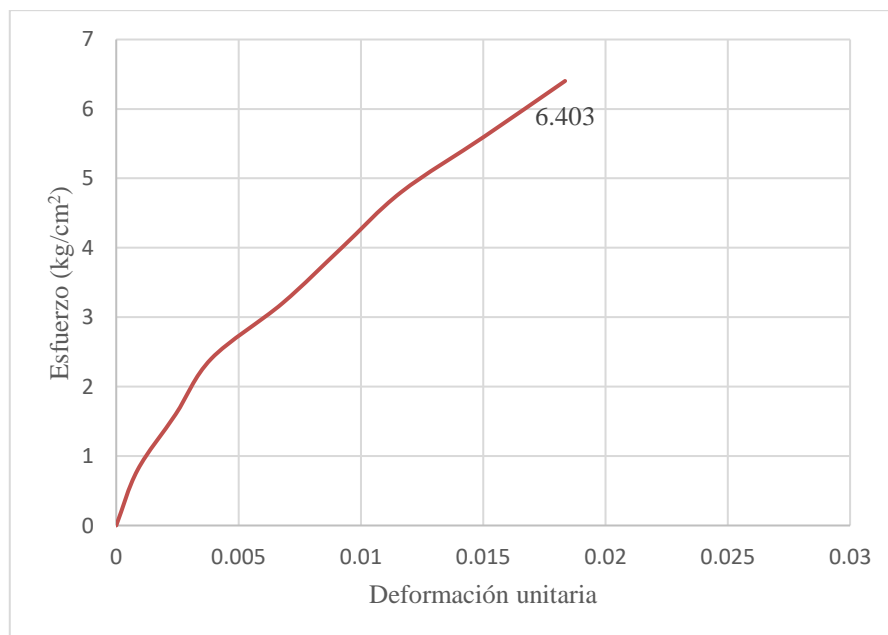


Tabla N° 14. Resistencia a la flexión de la muestra patrón N° 6

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	50	0.09	0.800	0.001
3	100	0.25	1.601	0.002
4	150	0.40	2.401	0.004
5	200	0.70	3.201	0.007
6	250	0.95	4.002	0.009
7	300	1.20	4.802	0.012
8	350	1.55	5.602	0.015
9	400	1.89	6.403	0.018

Figura N° 12. Esfuerzo - deformación muestra patrón N° 6



**Ensayo a compresión de la unidad de adobe con 8% de ceniza de biomasa arbórea.**

Tabla N° 15. Dimensiones del adobe compactado con 8% de ceniza de biomasa arbórea.

NÚMERO	A	L	H	ÁREA	UND
N°1	15.70	14.80	10.50	232.36	cm <sup>2</sup>
N°2	15.60	14.60	10.30	227.76	cm <sup>2</sup>
N°3	15.60	15.60	10.10	243.36	cm <sup>2</sup>
N°4	15.70	14.50	10.30	227.65	cm <sup>2</sup>
N°5	15.50	14.70	10.10	227.85	cm <sup>2</sup>
N°6	15.70	15.00	10.20	235.50	cm <sup>2</sup>
N°7	15.60	15.70	10.30	244.92	cm <sup>2</sup>
N°8	15.60	14.90	10.20	232.44	cm <sup>2</sup>

Tabla N° 16. Resistencia a la compresión de la muestra N° 1 con 8% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	1.75	2.152	0.017
3	1000	2.25	4.304	0.021
4	1500	2.95	6.456	0.028
5	2000	3.65	8.607	0.035
6	2500	4.35	10.759	0.041

Figura N° 13. Esfuerzo - deformación muestra N° 1 con 8% de CBA

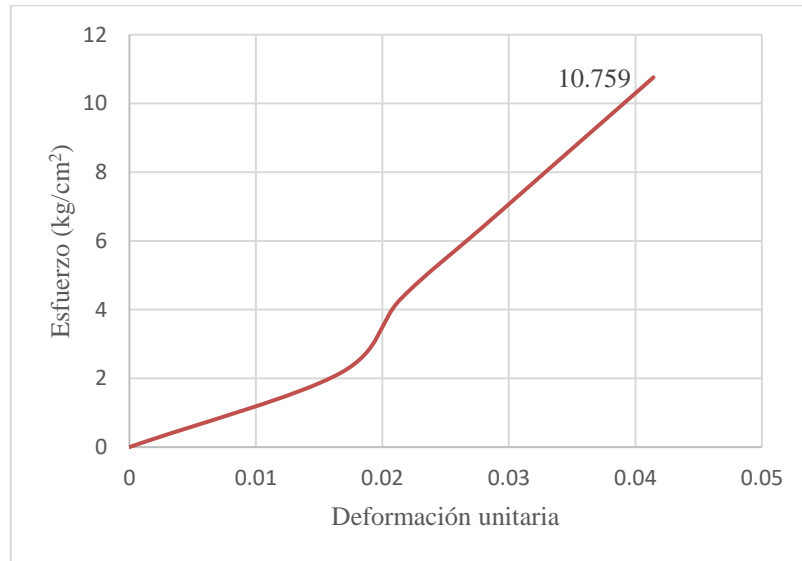


Tabla N° 17. Resistencia a la compresión de la muestra N° 2 con 8% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm²)	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
1	500	0.55	2.195	0.005
2	1000	1.00	4.391	0.010
3	1500	1.45	6.586	0.014
4	2000	1.75	8.781	0.017
5	2500	1.94	10.976	0.019

Figura N° 14. Esfuerzo - deformación muestra N° 2 con 8% de CBA

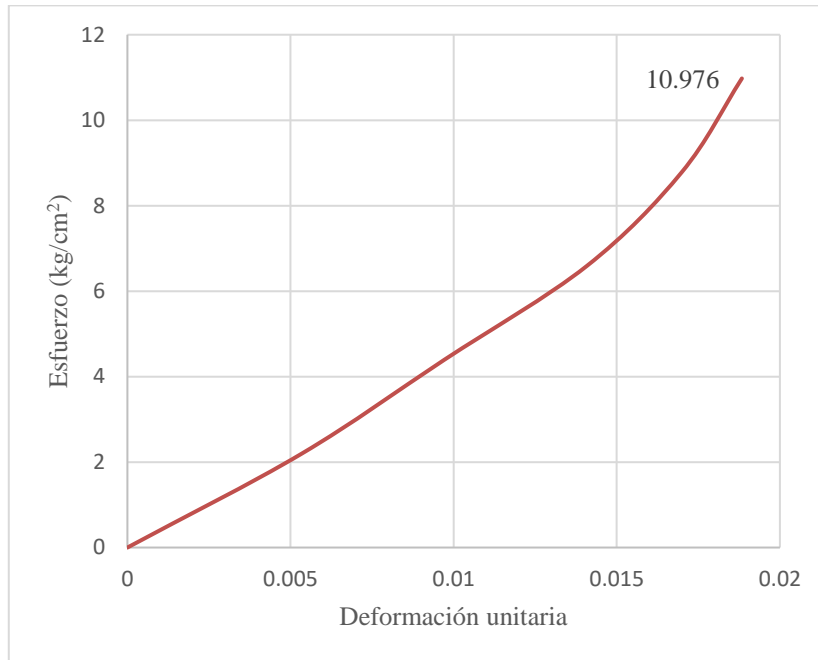


Tabla N° 18. Resistencia a la compresión de la muestra N° 3 con 8% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm²)	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0	0.00	0.000	0.000
1	500	0.65	2.055	0.006
2	1000	1.11	4.109	0.011
3	1500	1.58	6.164	0.016
4	2000	1.75	8.218	0.017
5	2500	1.90	10.273	0.019
6	3000	2.15	12.327	0.021
7	3500	2.90	14.382	0.029
8	4000	3.70	16.437	0.037

Figura N° 15. Esfuerzo - Deformación muestra N° 3 con 8% de CBA

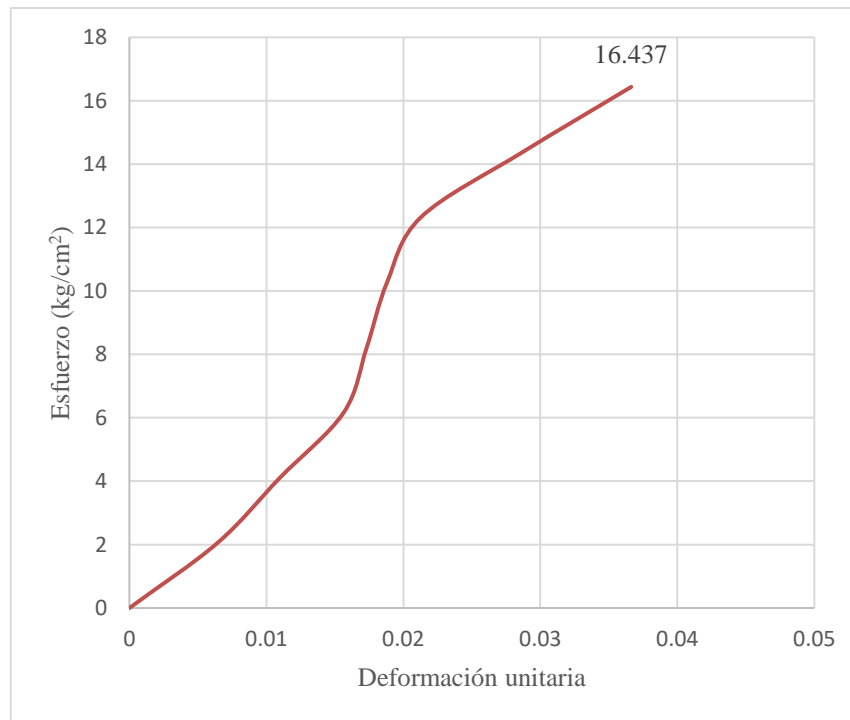


Tabla N° 19. Resistencia a la compresión de la muestra N° 4 con 8% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm²)	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	0.70	2.196	0.007
3	1000	1.71	4.393	0.017
4	1500	2.85	6.589	0.028
5	2000	3.10	8.785	0.030



Figura N° 16. Esfuerzo - deformación muestra N° 4 con 8% de CBA

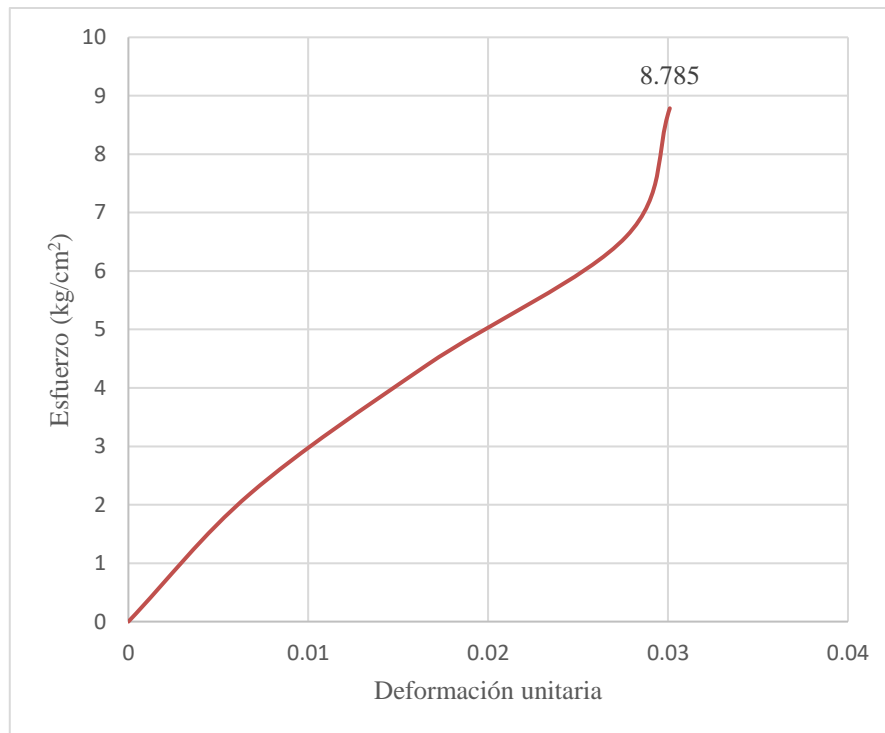


Tabla N° 20. Resistencia a la compresión de la muestra N° 5 con 8% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm²)	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	0.95	2.194	0.009
3	1000	1.65	4.389	0.016
4	1500	2.25	6.583	0.022
5	2000	3.20	8.778	0.032

Figura N° 17. Esfuerzo - deformación muestra N° 5 con 8% de CBA

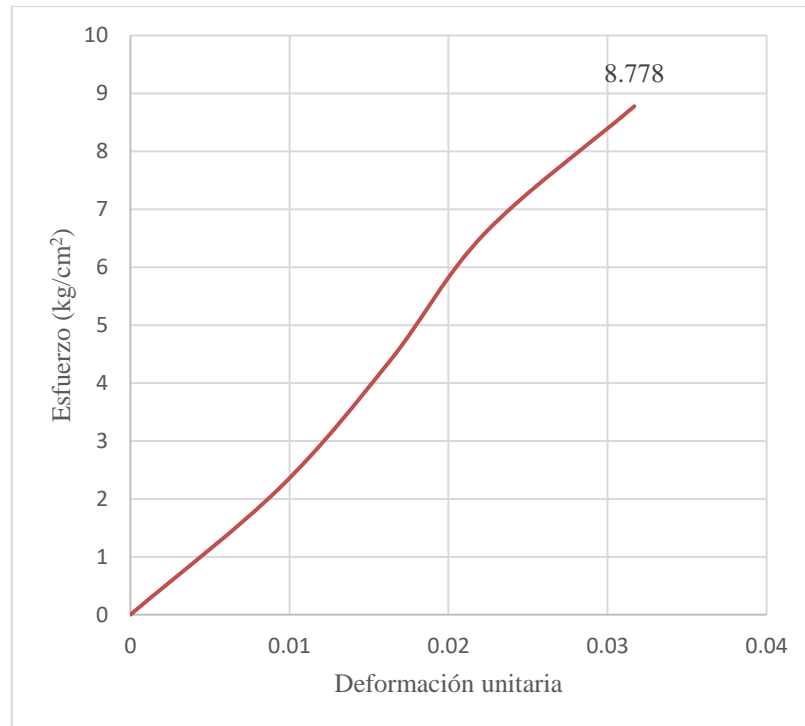


Tabla N° 21. Resistencia a la compresión de la muestra N° 6 con 8% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm²)	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	0.91	2.123	0.009
3	1000	1.55	4.246	0.015
4	1500	2.31	6.369	0.023
5	2000	2.95	8.493	0.029

Figura N° 18. Esfuerzo - deformación muestra N° 6 con 8% de CBA

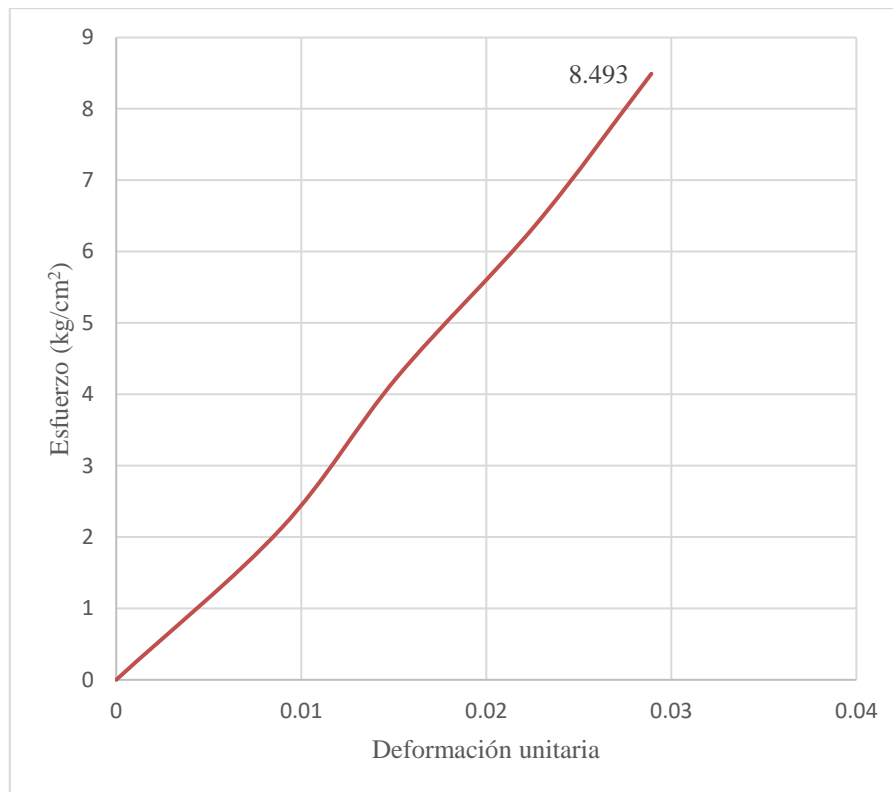


Tabla N° 22. Resistencia a la compresión de la muestra N° 7 con 8% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm²)	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	0.75	2.041	0.007
3	1000	1.65	4.083	0.016
4	1500	2.40	6.124	0.023
5	2000	2.85	8.166	0.028

Figura N° 19. Esfuerzo - deformación muestra N° 7 con 8% de CBA

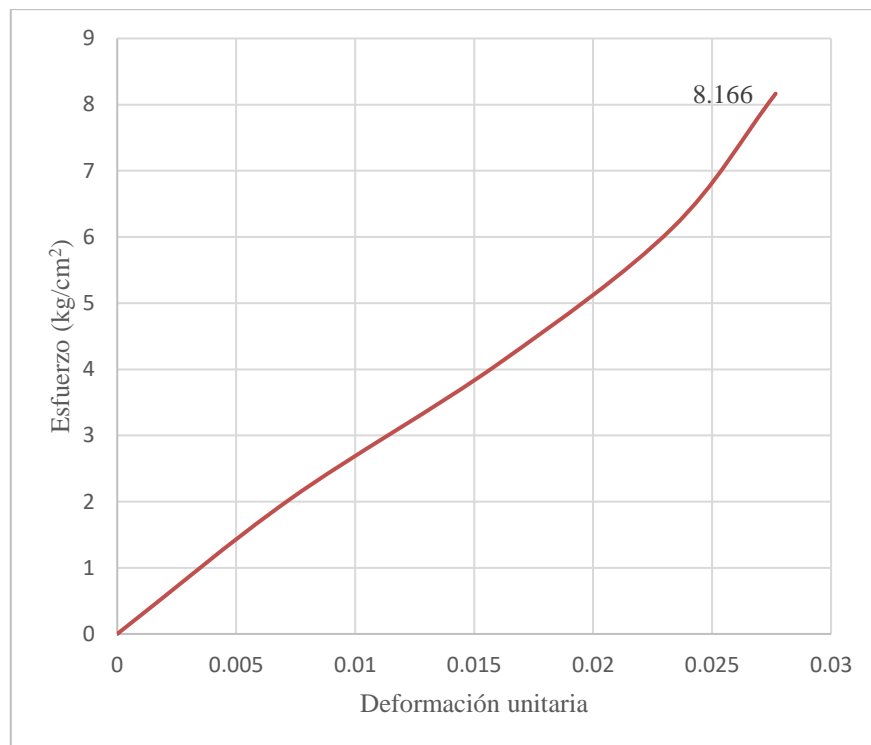
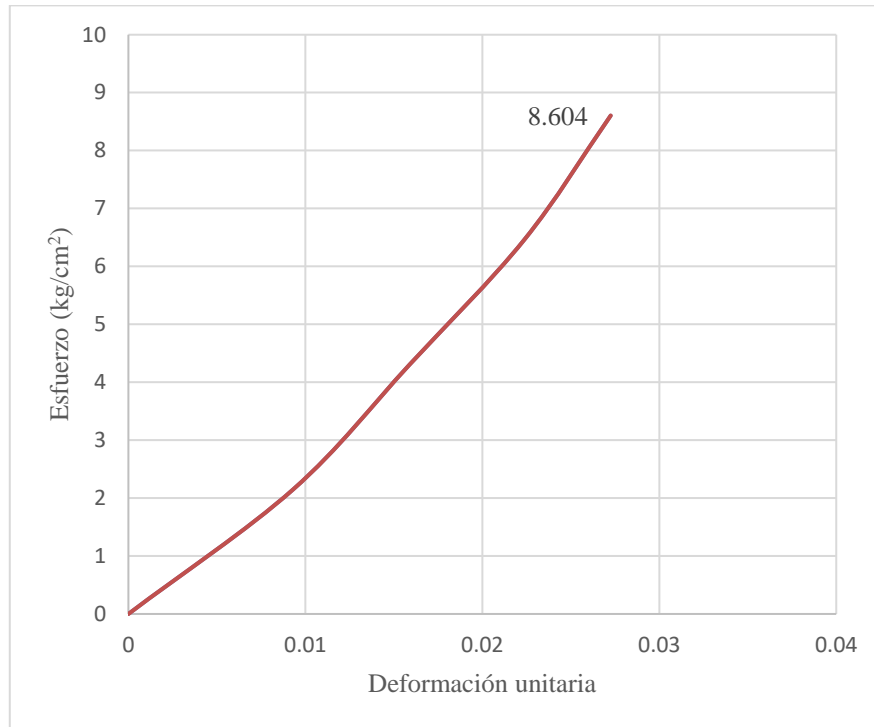


Tabla N° 23. Resistencia a la compresión de la muestra N° 8 con 8% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm²)	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	0.95	2.151	0.009
3	1000	1.62	4.302	0.016
4	1500	2.28	6.453	0.022
5	2000	2.78	8.604	0.027

Figura N° 20. Esfuerzo - deformación muestra N° 8 con 8% de CBA



**Ensayo a flexión de la unidad de adobe con 8% de ceniza de biomasa arbórea.**

Tabla N° 24. Dimensiones del adobe compactado con 8% de ceniza de biomasa arbórea.

NÚMERO	A	L	H	ÁREA	UND
N°1	15.60	29.80	10.30	464.88	cm <sup>2</sup>
N°2	16.00	30.00	10.50	480.00	cm <sup>2</sup>
N°3	15.50	29.60	10.30	458.80	cm <sup>2</sup>
N°4	15.70	29.80	10.40	467.86	cm <sup>2</sup>
N°5	15.80	29.90	10.20	472.42	cm <sup>2</sup>
N°6	15.70	29.90	10.00	469.43	cm <sup>2</sup>

Tabla N° 25. Resistencia a la flexión de la muestra N° 1 con 8% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0	0.00	0.000	0.000
1	50	0.38	0.816	0.004
2	100	0.95	1.631	0.009
3	150	1.35	2.447	0.013
4	200	1.50	3.263	0.015
5	250	1.70	4.079	0.017
6	300	1.85	4.894	0.018
7	350	2.50	5.710	0.024

Figura N° 21. Esfuerzo - deformación muestra N° 1 con 8% de CBA

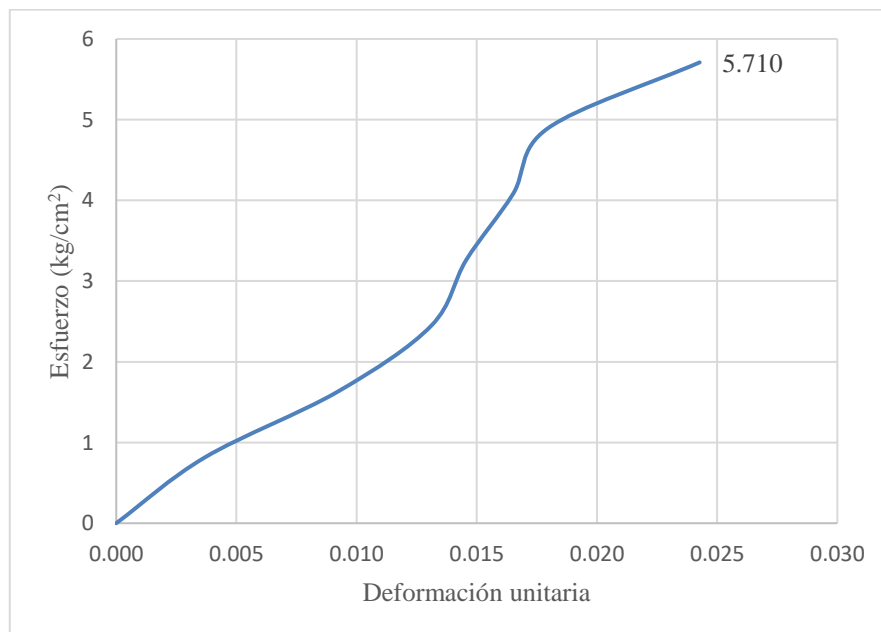


Tabla N° 26. Resistencia a la flexión de la muestra N° 2 con 8% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0	0.00	0.000	0.000
1	50	0.09	0.765	0.001
2	100	0.25	1.531	0.002
3	150	0.40	2.296	0.004
4	200	0.70	3.061	0.007
5	250	0.95	3.827	0.009
6	300	1.20	4.592	0.011

Figura N° 22. Esfuerzo - deformación muestra N° 2 con 8% de CBA

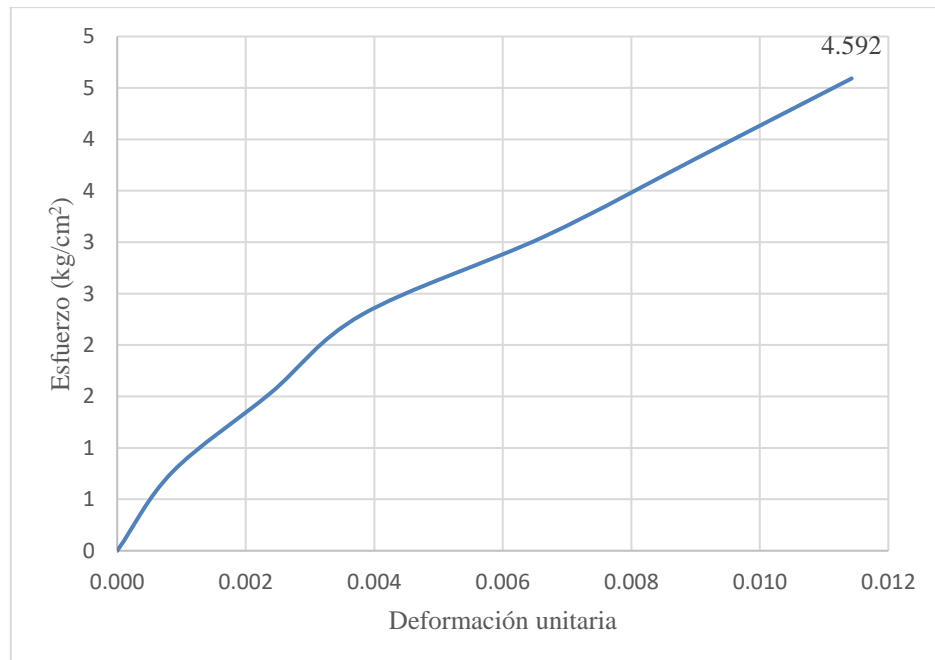


Tabla N° 27. Resistencia a la flexión de la muestra N° 3 con 8% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0	0.00	0.000	0.000
1	50	1.40	0.821	0.014
2	100	1.70	1.642	0.017
3	150	1.90	2.463	0.018
4	200	2.10	3.284	0.020
5	250	2.30	4.105	0.022
6	300	2.45	4.926	0.024
7	350	2.90	5.747	0.028
8	400	3.10	6.568	0.030
9	450	3.30	7.389	0.032

Figura N° 23. Esfuerzo - deformación muestra N° 3 con 8% de CBA

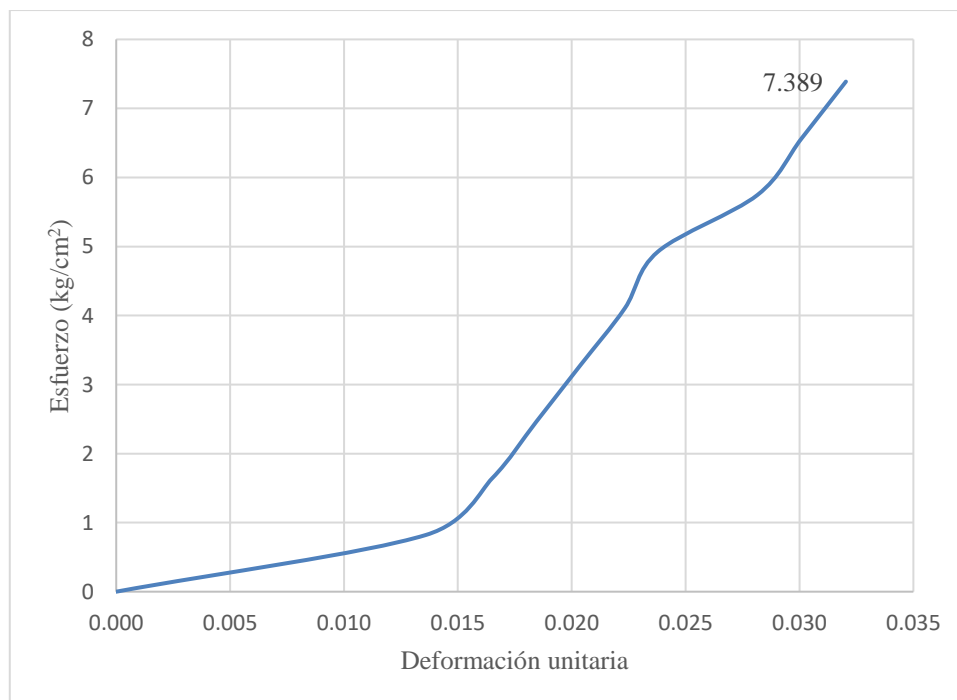




Tabla N° 28. Resistencia a la flexión de la muestra N° 4 con 8% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0	0.00	0.000	0.000
1	50	0.25	0.795	0.002
2	100	0.42	1.590	0.004
3	150	0.55	2.385	0.005
4	200	0.64	3.180	0.006
5	250	0.71	3.975	0.007
6	300	0.80	4.770	0.008
7	350	0.90	5.565	0.009
8	400	1.00	6.360	0.010
9	450	1.30	7.155	0.013
10	500	1.40	7.950	0.013

Figura N° 24. Esfuerzo - deformación muestra N° 4 con 8% de CBA

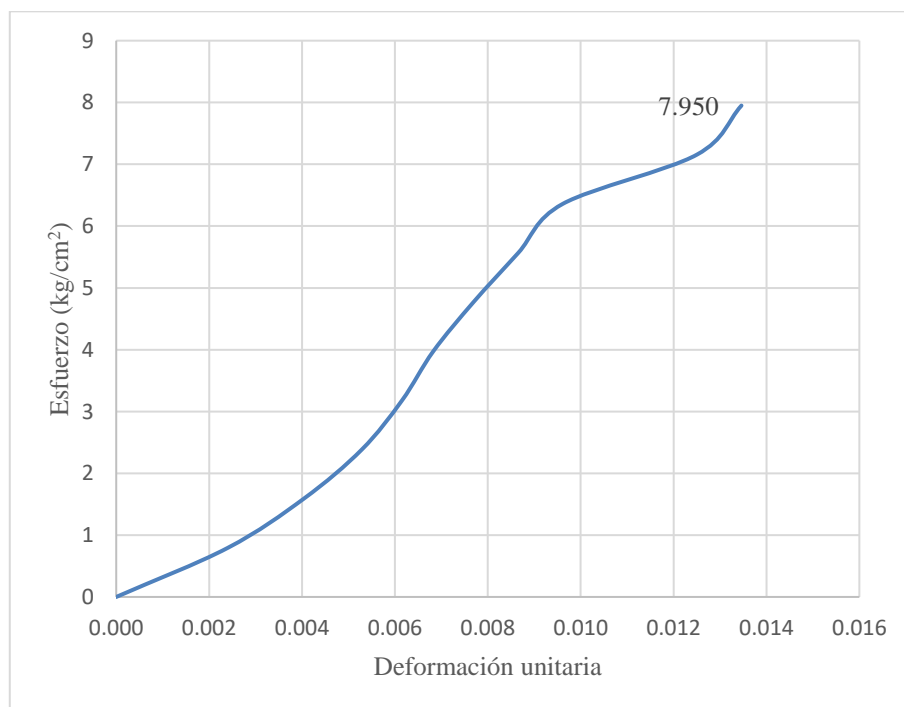


Tabla N° 29. Resistencia a la flexión de la muestra N° 5 con 8% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0	0.00	0.000	0.000
1	50	0.20	0.821	0.002
2	100	0.40	1.643	0.004
3	150	0.55	2.464	0.005
4	200	0.75	3.285	0.007
5	250	0.88	4.106	0.009
6	300	0.90	4.928	0.009

Figura N° 25. Esfuerzo - deformación muestra N° 5 con 8% de CBA

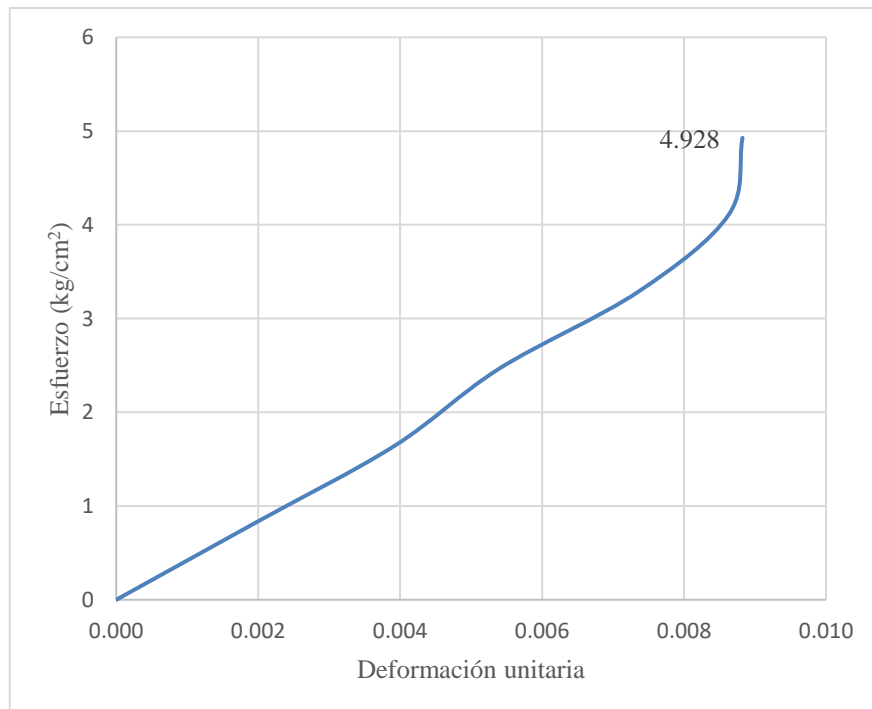
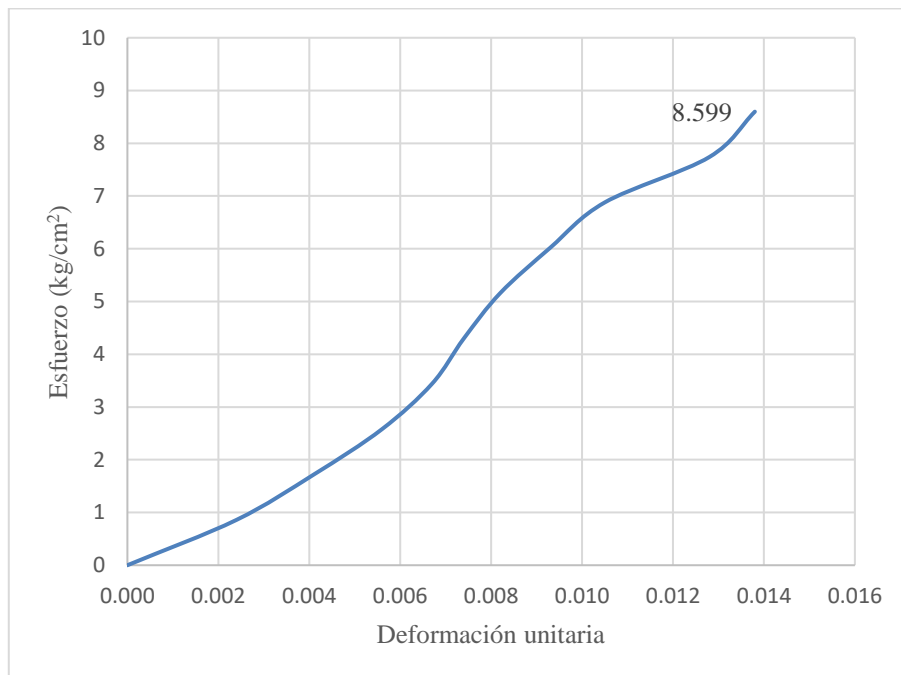


Tabla N° 30. Resistencia a la flexión de la muestra N° 6 con 8% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0	0.00	0.000	0.000
1	50	0.24	0.860	0.002
2	100	0.41	1.720	0.004
3	150	0.56	2.580	0.006
4	200	0.67	3.439	0.007
5	250	0.74	4.299	0.007
6	300	0.82	5.159	0.008
7	350	0.93	6.019	0.009
8	400	1.05	6.879	0.011
9	450	1.28	7.739	0.013
10	500	1.38	8.599	0.014

Figura N° 26. Esfuerzo - deformación muestra N° 6 con 8% de CBA



**Ensayo a compresión de la unidad de adobe con 10% de ceniza de biomasa  
arbórea.**

Tabla N° 31. Dimensiones del adobe compactado con 10% de ceniza de biomasa  
arbórea.

NÚMERO	A	L	H	ÁREA	UND
N°1	15.60	14.60	10.40	243.36	cm <sup>2</sup>
N°2	15.70	15.10	10.30	237.07	cm <sup>2</sup>
N°3	15.60	15.10	10.40	235.56	cm <sup>2</sup>
N°4	15.50	14.90	10.00	230.95	cm <sup>2</sup>
N°5	15.60	15.00	10.40	234.00	cm <sup>2</sup>
N°6	15.50	14.60	10.10	226.30	cm <sup>2</sup>
N°7	15.50	14.50	10.00	224.75	cm <sup>2</sup>
N°8	15.50	14.90	10.30	230.95	cm <sup>2</sup>

Tabla N° 32. Resistencia a la compresión de la muestra N° 1 con 10% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	0.65	2.055	0.006
3	1000	1.45	4.109	0.014
4	1500	2.40	6.164	0.023

Figura N° 27. Esfuerzo - deformación muestra N° 1 con 10% de CBA

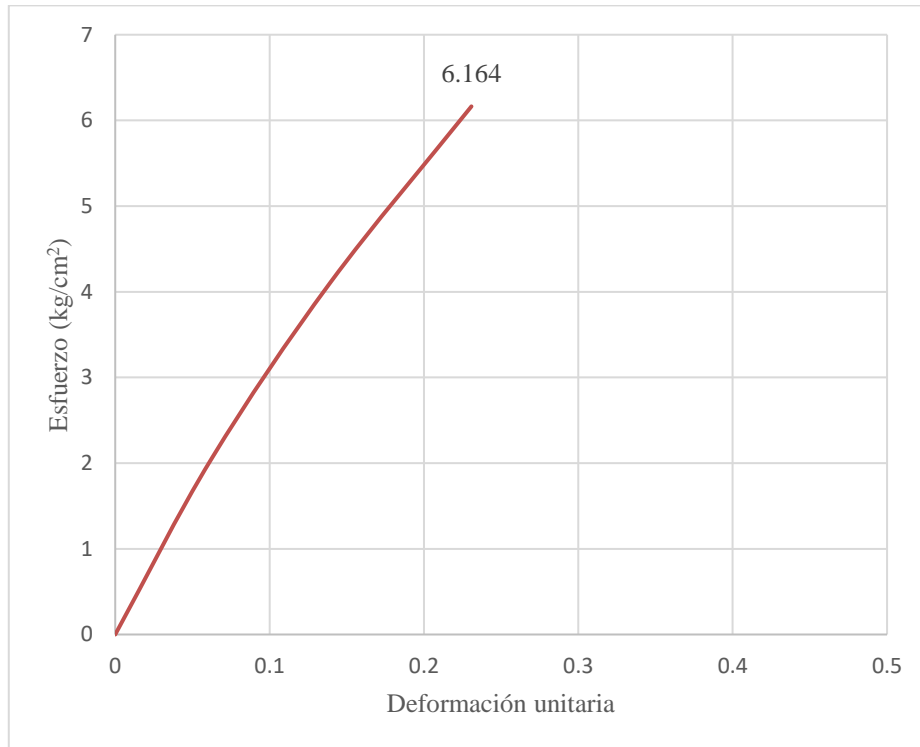


Tabla N° 33. Resistencia a la compresión de la muestra N° 2 con 10% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm²)	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	1.75	2.109	0.017
3	1000	2.80	4.218	0.027
4	1500	4.20	6.327	0.041

Figura N° 28. Esfuerzo - deformación muestra N° 2 con 10% de CBA

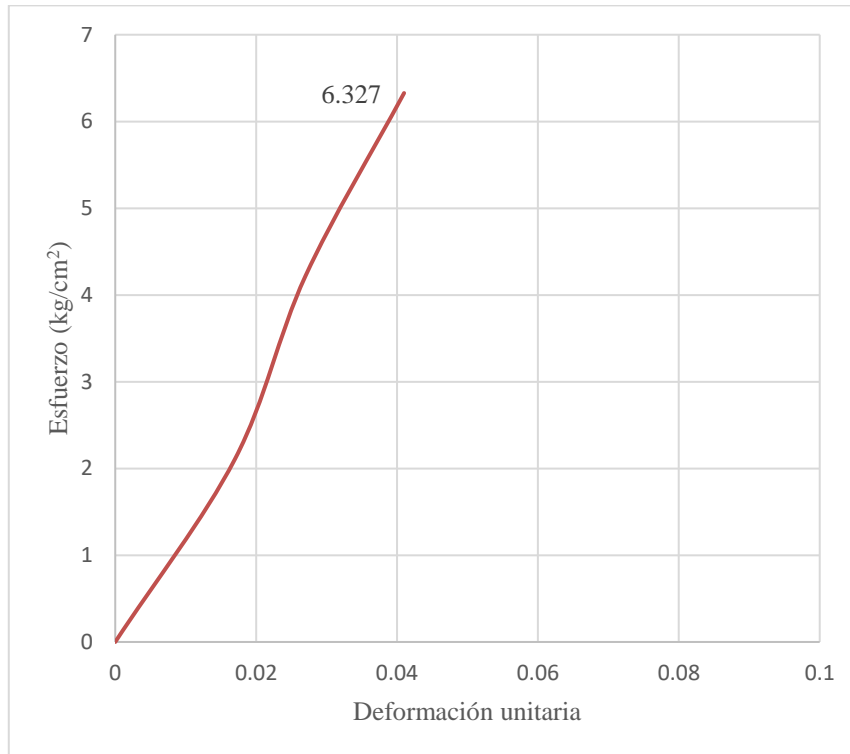


Tabla N° 34. Resistencia a la compresión de la muestra N° 3 con 10% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm²)	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	1.20	2.123	0.012
3	1000	2.05	4.245	0.020
4	1500	3.40	6.368	0.033

Figura N° 29. Esfuerzo - deformación muestra N° 3 con 10% de CBA

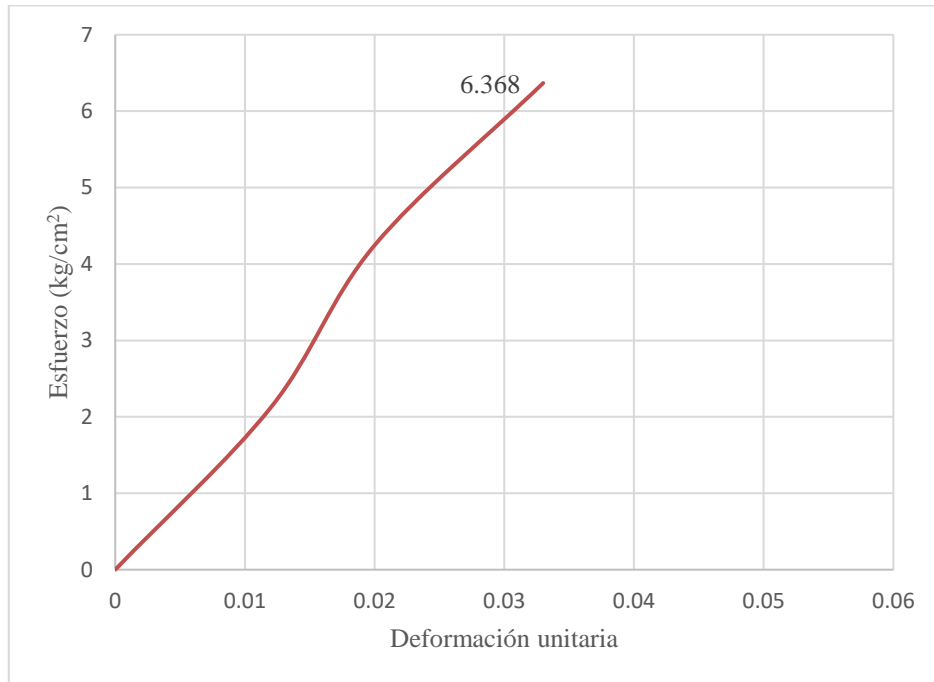


Tabla N° 35. Resistencia a la compresión de la muestra N° 4 con 10% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm²)	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	0.75	2.165	0.008
3	1000	1.70	4.330	0.017
4	1500	2.82	6.495	0.028

Figura N° 30. Esfuerzo - deformación muestra N° 4 con 10% de CBA

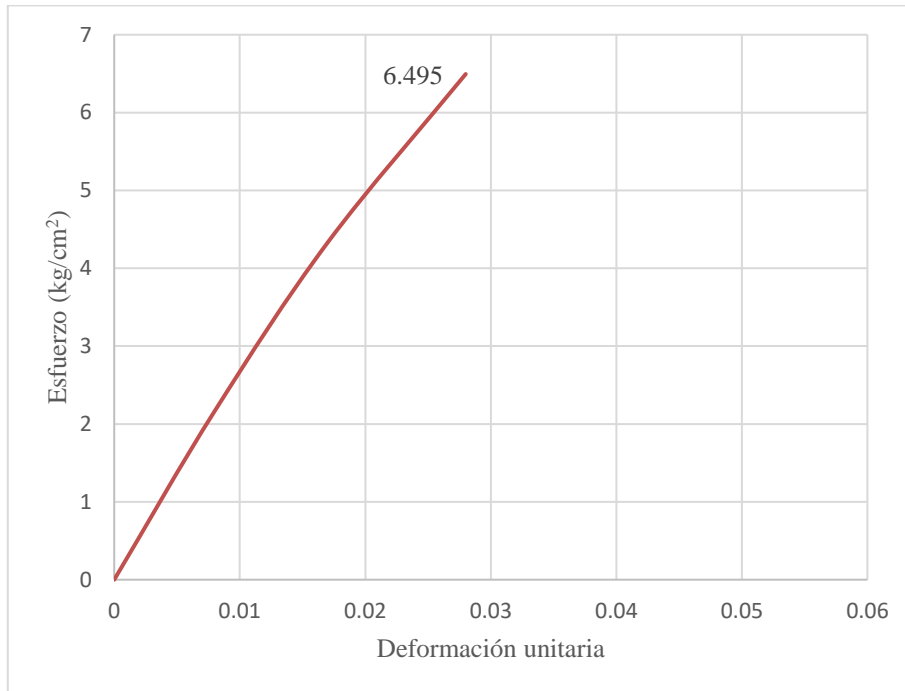


Tabla N° 36. Resistencia a la compresión de la muestra N° 5. con 10% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	0.69	2.137	0.007
3	1000	1.30	4.274	0.013
4	1500	2.20	6.410	0.021
5	2000	3.40	8.547	0.033
6	2500	4.70	10.684	0.045



Figura N° 31. Esfuerzo - deformación muestra N° 5 con 10% de CBA

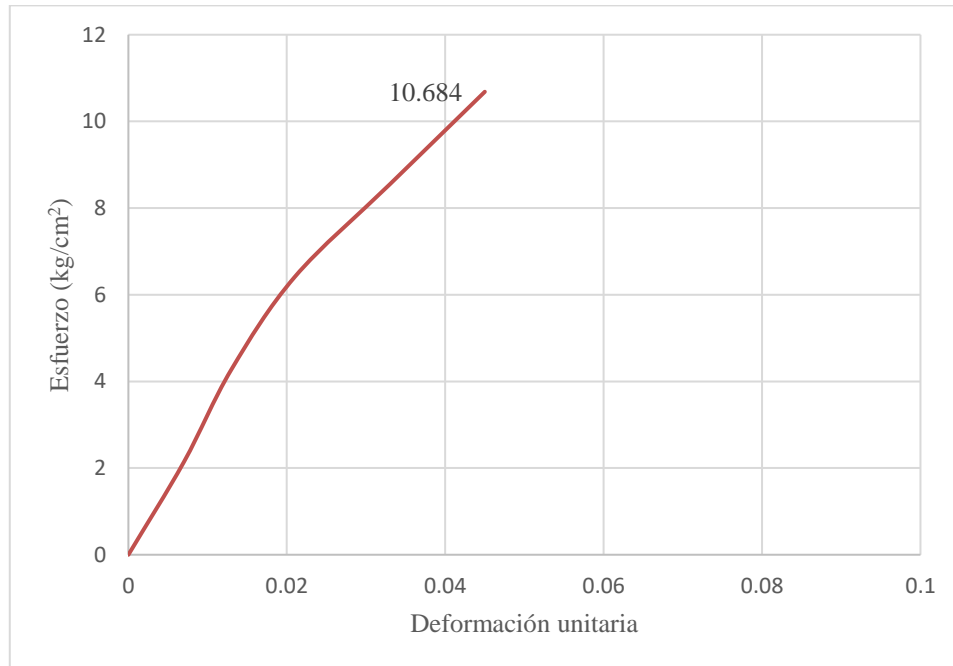


Tabla N° 37. Resistencia a la compresión de la muestra N° 6 con 10% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	0.75	2.209	0.007
3	1000	1.70	4.419	0.017
4	1500	2.30	6.628	0.023

Figura N° 32. Esfuerzo - deformación muestra N° 6 con 10% de CBA

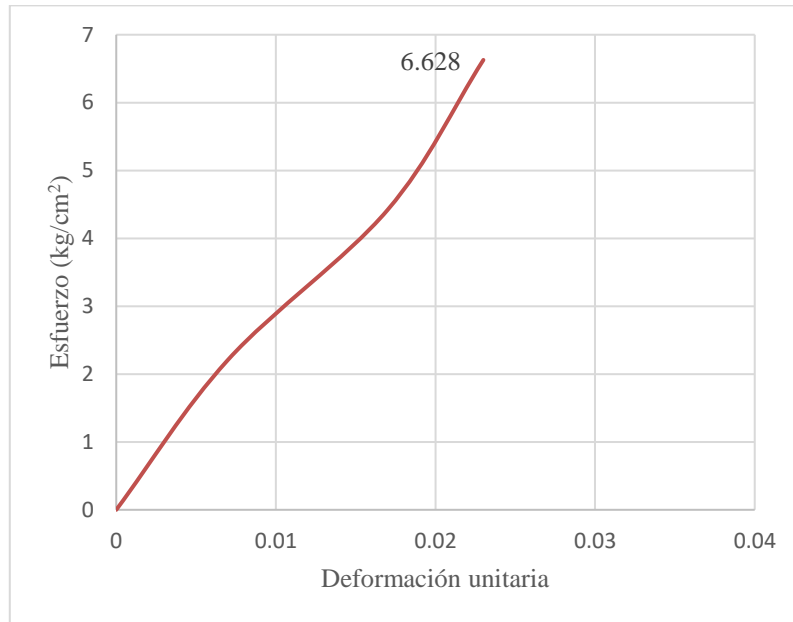


Tabla N° 38. Resistencia a la compresión de la muestra N° 7 con 10% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	0.75	2.225	0.008
3	1000	1.70	4.449	0.017
4	1500	2.30	6.674	0.023

Figura N° 33. Esfuerzo - deformación muestra N° 7 con 10% de CBA

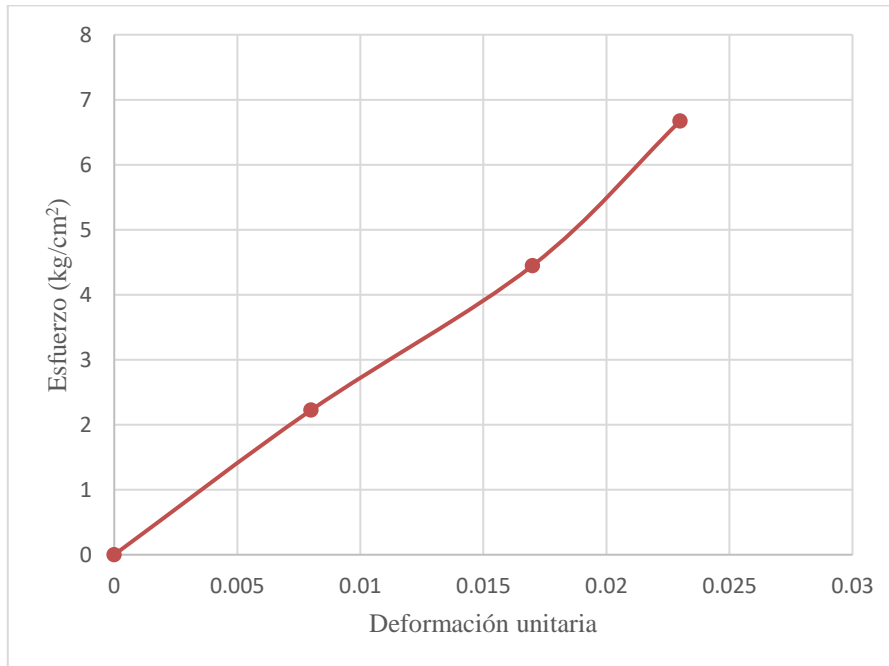
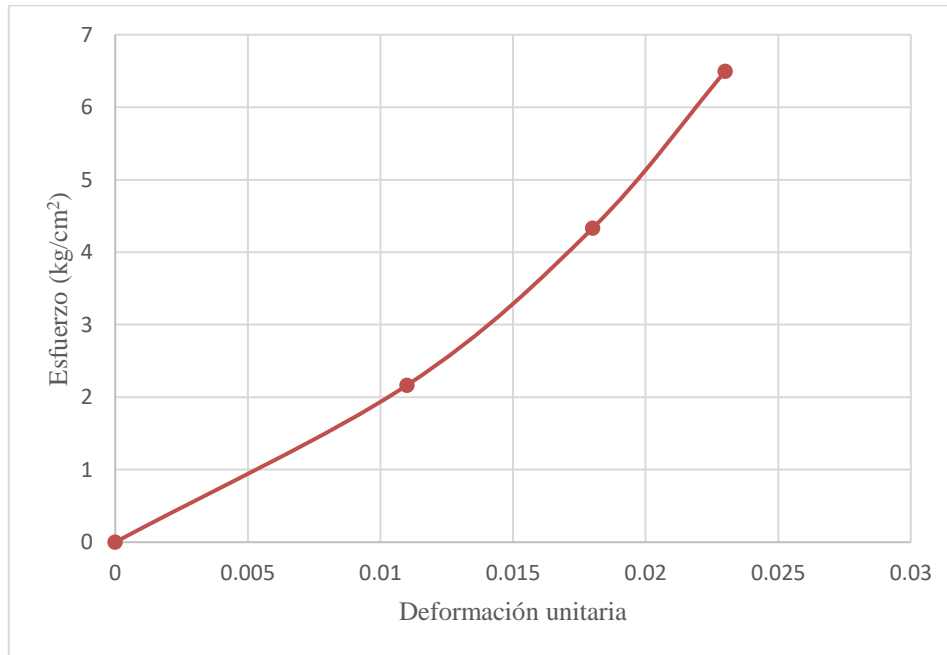


Tabla N° 39. Resistencia a la compresión de la muestra N° 8 con 10% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
1	0	0.00	0.000	0.000
2	500	1.10	2.165	0.011
3	1000	1.84	4.330	0.018
4	1500	2.42	6.495	0.023

Figura N° 34. Esfuerzo - deformación muestra N° 8 con 10% de CBA



**Ensayo a flexión de la unidad de adobe con 10% de ceniza de biomasa arbórea.**

Tabla N° 40. Dimensiones del adobe compactado con 10% de ceniza de biomasa arbórea.

NÚMERO	A	L	H	ÁREA	UND
N°1	15.70	29.70	10.30	466.29	cm <sup>2</sup>
N°2	15.70	29.80	10.10	467.86	cm <sup>2</sup>
N°3	15.60	29.70	9.90	463.32	cm <sup>2</sup>
N°4	15.70	29.70	10.30	466.29	cm <sup>2</sup>
N°5	15.60	29.60	10.00	461.76	cm <sup>2</sup>
N°6	15.80	29.80	10.20	470.84	cm <sup>2</sup>

Tabla N° 41. Resistencia a la flexión de la muestra N° 1 con 10% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0	0.00	0.000	0.000
1	50	0.65	0.811	0.006
2	100	0.80	1.621	0.008
3	150	0.90	2.432	0.009
4	200	0.98	3.242	0.010
5	250	1.10	4.053	0.011
6	300	1.25	4.863	0.012
7	350	1.50	5.674	0.015
8	400	1.70	6.484	0.017

Figura N° 35. Esfuerzo - deformación muestra N° 1 con 10% de CBA

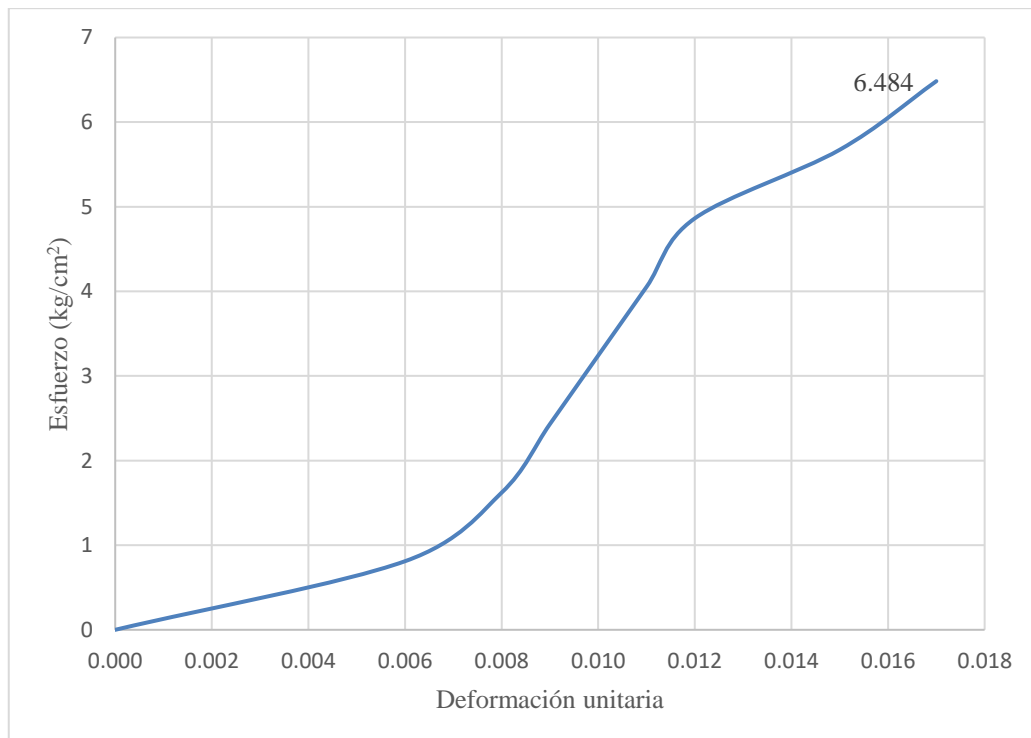


Tabla N° 42. Resistencia a la flexión de la muestra N° 2 con 10% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0	0.00	0.000	0.000
1	50	0.55	0.843	0.005
2	100	1.10	1.686	0.011
3	150	1.36	2.529	0.013
4	200	1.65	3.372	0.016
5	250	1.78	4.215	0.018
6	300	1.85	5.058	0.018
7	350	1.90	5.901	0.019
8	400	1.98	6.743	0.020
9	450	2.10	7.586	0.021
10	500	2.38	8.429	0.024
11	550	2.50	9.272	0.025

Figura N° 36. Esfuerzo - deformación muestra N° 2 con 10% de CBA

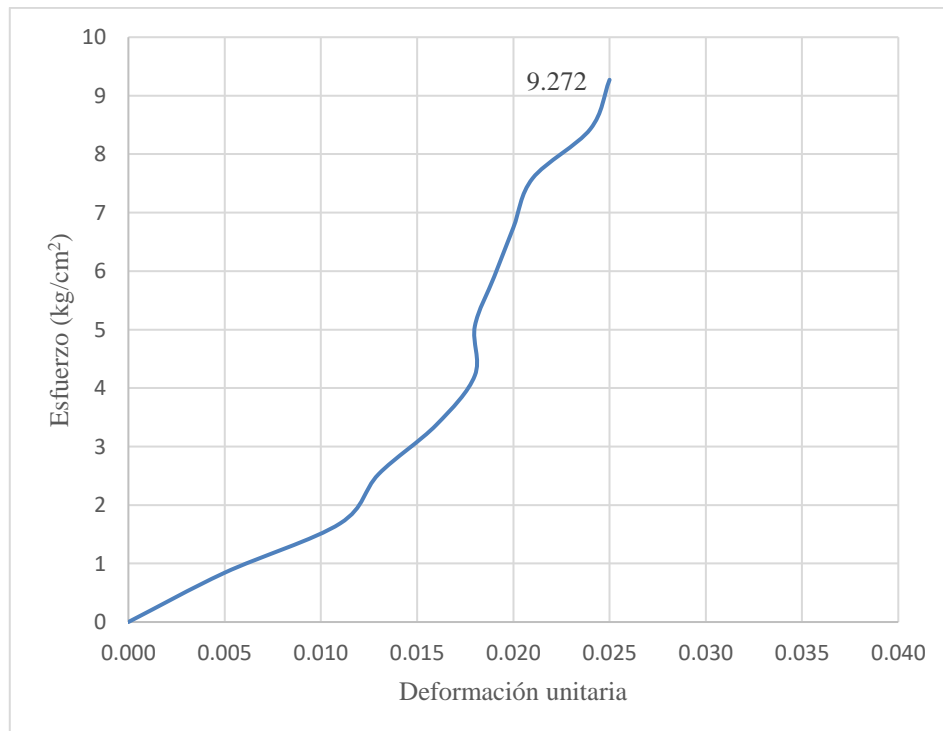


Tabla N° 43. Resistencia a la flexión de la muestra N° 3 con 10% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0	0.00	0.000	0.000
1	50	0.06	0.883	0.001
2	100	0.12	1.766	0.001
3	150	0.20	2.649	0.002
4	200	0.35	3.532	0.004
5	250	0.63	4.415	0.006
6	300	0.80	5.298	0.008

Figura N° 37. Esfuerzo - deformación muestra N° 3 con 10% de CBA

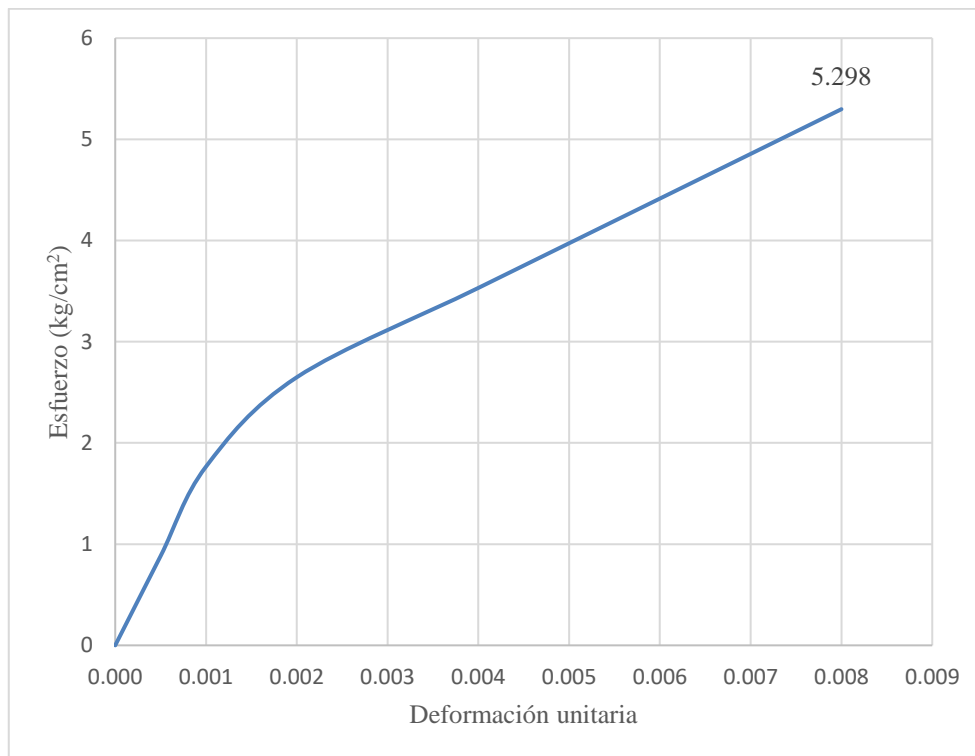


Tabla N° 44. Resistencia a la flexión de la muestra N° 4 con 10% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0	0.00	0.000	0.000
1	50	0.05	0.811	0.005
2	100	0.25	1.621	0.002
3	150	0.45	2.432	0.004
4	200	0.65	3.242	0.006
5	250	0.80	4.053	0.008
6	300	0.95	4.863	0.009
7	350	1.10	5.674	0.011
8	400	1.25	6.484	0.012
9	450	1.75	7.295	0.017
10	500	2.25	8.105	0.022
11	550	2.50	8.916	0.024

Figura N° 38. Esfuerzo - deformación muestra N° 4 con 10% de CBA

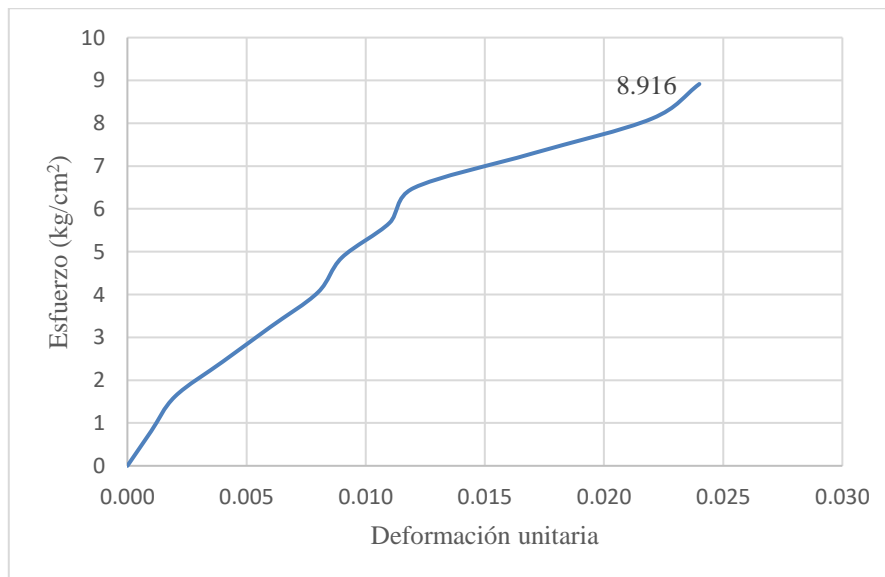




Tabla N° 45. Resistencia a la flexión de la muestra N° 5 con 10% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0	0.00	0.000	0.000
1	50	0.20	0.865	0.002
2	100	0.38	1.731	0.004
3	150	0.50	2.596	0.005
4	200	0.64	3.462	0.006
5	250	0.75	4.327	0.008
6	300	0.90	5.192	0.009
7	350	1.10	6.058	0.011

Figura N° 39. Esfuerzo - deformación muestra N° 5 con 10% de CBA

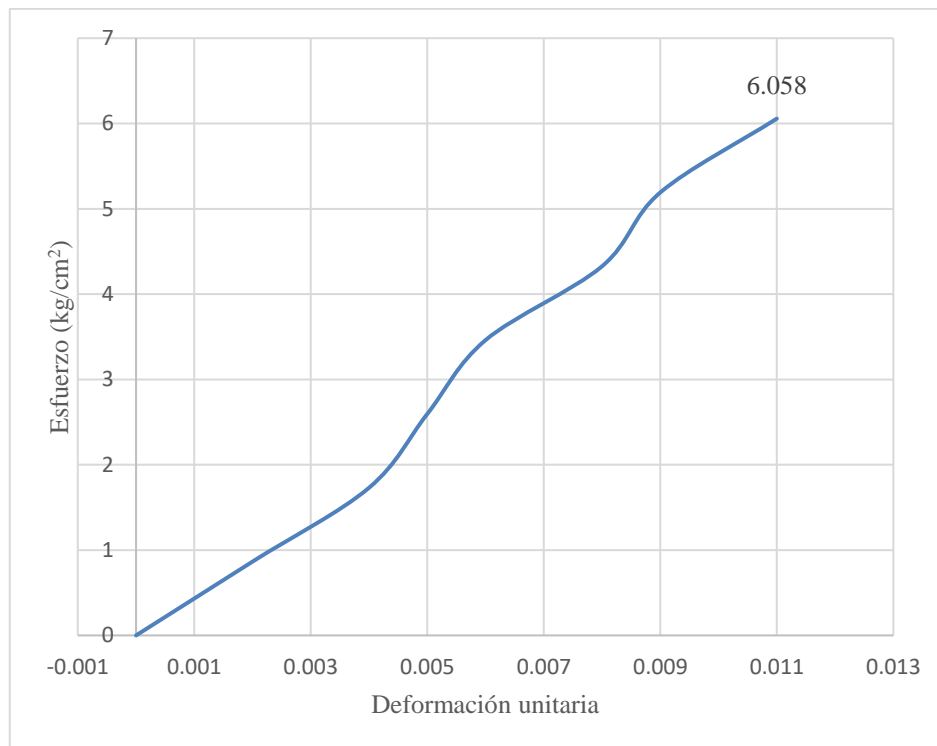
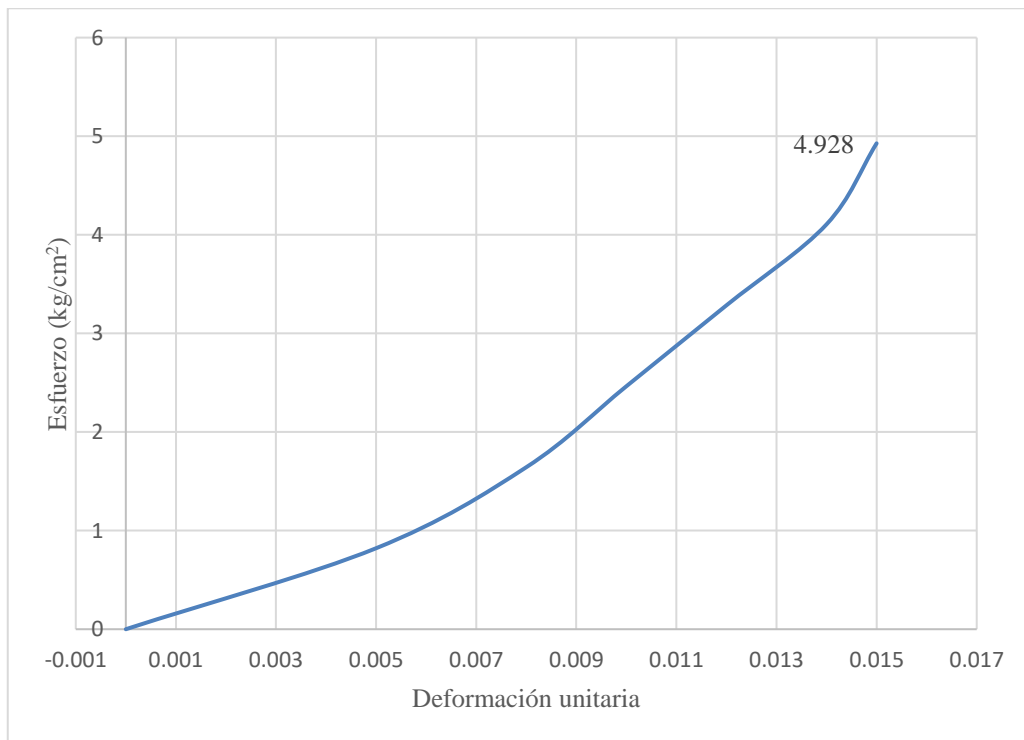


Tabla N° 46. Resistencia a la flexión de la muestra N° 6 con 10% de CBA

N°	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN TOTAL (mm)	ESFUERZO = P/A (kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0	0.00	0.000	0.000
1	50	0.55	0.821	0.005
2	100	0.80	1.643	0.008
3	150	1.05	2.464	0.010
4	200	1.20	3.285	0.012
5	250	1.40	4.106	0.014
6	300	1.50	4.928	0.015

Figura N° 40. Esfuerzo - deformación muestra N° 6 con 10% de CBA



### **ANEXO N° 3. PLANO DE UBICACIÓN DE CANTERA**

## **ANEXO N° 4. PROTOCOLOS DE LABORATORIO**