



UNAP



**FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN GESTIÓN
AMBIENTAL**

TESIS

**“PROPORCIÓN DE CARBÓN VEGETAL EN LA RESISTENCIA
A LA COMPRESIÓN DE ADOBE ARTESANAL. LORETO”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

PRESENTADO POR:

NORMA ADELA PACAYA TUANAMA

ASESOR:

Ing. JULIO ABEL MANRIQUE DEL AGUILA, Dr.

IQUITOS, PERÚ

2024



UNAP

**FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
GESTIÓN AMBIENTAL**



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS No. 0117-CGYT-FA-UNAP-2024.

En Iquitos, a los 16 días del mes de diciembre del 2024, a horas 07:00pm, se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: **“PROPORCIÓN DE CARBÓN VEGETAL EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOBE ARTESANAL. LORETO”**, aprobado con Resolución Decanal N°045-CGYT-FA-UNAP-2024, presentado por la Bachiller: **NORMA ADELA PACAYA TUANAMA**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO (A) EN GESTIÓN AMBIENTAL**, que otorga la Universidad de acuerdo a la Ley y Estatuto.

El Jurado Calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal No.0102-CGYT-FA-UNAP-2024, está integrado por:

Ing. RONALD YALTA VEGA, M.Sc.	Presidente
Ing. GIORLY GEOVANNI MACHUCA ESPINAR, M.Sc.	Miembro
Ing. JOSE RICARDO HUANCA DIAZ, M.Sc.	Miembro

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas:

A Reafirmación

El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y la Tesis han sido: *APROBADA* con la calificación *MUY BUENA*

Estando la Bachiller *A.P.T.A.* para obtener el Título Profesional de *INGENIERA EN GESTION AMBIENTAL*

Siendo las *09:00 pm*, se dio por terminado el acto **ACADÉMICO**.


Ing. RONALD YALTA VEGA, M.Sc.
Presidente


Ing. GIORLY GEOVANNI MACHUCA ESPINAR, M.Sc.
Miembro


Ing. JOSE RICARDO HUANCA DIAZ, M.Sc.
Miembro


Ing. JULIO ABEL MANRIQUE DEL AGUILA, Dr.
Asesor

JURADO Y ASESOR

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Tesis aprobada en sustentación pública el 16 de diciembre del 2024, por el jurado Ad-Hoc nombrado por el Comité de Grados y Títulos de la Facultad de Agronomía, para optar el título profesional de:

INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL



Ing. RONALD YALTA VEGA, M.Sc.
Presidente



Ing. GIORLY GEOVANNI MACHUCA ESPINAR, M.Sc.
Miembro



Ing. JOSE RICARDO HUANCA DIAZ, M.Sc.
Miembro



Ing. JULIO ABEL MANRIQUE DEL AGUILA, Dr.
Asesor



Ing. FIDEL ASPAÑO VARELA, Dr.
Decano



RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO	AUTOR
FA_TESIS_PACAYA TUANAMA.pdf	NORMA ADELA PACAYA TUANAMA

RECuento DE PALABRAS	RECuento DE CARACTERES
7989 Words	40347 Characters

RECuento DE PÁGINAS	TAMAÑO DEL ARCHIVO
40 Pages	223.6KB

FECHA DE ENTREGA	FECHA DEL INFORME
Nov 11, 2024 10:39 AM GMT-5	Nov 11, 2024 10:39 AM GMT-5

● 19% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 18% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 12% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

Resumen

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso, por haberme permitido concluir con éxito mi tesis.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, que siempre me ha acompañado, que me dio la fuerza para culminar con éxito mi carrera profesional.

A mi alma Mater, la **Universidad Nacional de la Amazonía Peruana**.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
PORTADA	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
JURADO Y ASESOR.....	iii
RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Bases teóricas	8
1.3. Definición de términos básicos	10
CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	11
2.1. Formulación de la hipótesis	11
2.1.1. Hipótesis del investigador.....	11
2.2. Variables y su operacionalización	11
2.2.1. Identificación de las variables	11
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	12
3.1. Localización del área experimental	12
3.2. Condiciones climáticas	12
3.3. Procedimiento de recolección de datos.....	12
3.4. Material experimental.....	14
3.5. Factor de estudio	14
3.6. Descripción de los tratamientos	14
3.7. Diseño metodológico	15
3.7.1. Población objetivo	15
3.7.2. Muestreo	15
3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	15
3.9. Evaluación de las variables dependientes	16
3.10. Procesamiento y análisis de información	16

3.11. Esquema del Análisis de Variancia	17
3.12. Aspectos éticos	17
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	18
4.1. Fuerza en kilonewtons (kN)	18
4.2. Fuerza en kilogramos (Kg).....	20
4.3. Area (cm ²).....	22
4.4. Esfuerzo (Kg/cm ²).....	25
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	28
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	30
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	31
CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
ANEXOS	34
1. Ensayo resistencia a la compresión	35
2. Análisis físico químico de suelos	36
3. Datos originales de la tesis	37
4. Galería de fotos	39

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Análisis de variancia de fuerza (kN) en adobe artesanal.....	18
Tabla 2. Prueba de Tuckey de fuerza (kN) en adobe artesanal	18
Tabla 3. Análisis de variancia de fuerza (Kg) en adobe artesanal.....	20
Tabla 4. Prueba de Tuckey de fuerza (Kg) en adobe artesanal	20
Tabla 5. Análisis de variancia de área (cm ²) de adobe artesanal.....	22
Tabla 6. Prueba de Tuckey de área (cm ²) de adobe artesanal	23
Tabla 7. Análisis de variancia de esfuerzo (Kg/cm ²) de adobe artesanal	25
Tabla 8. Prueba de Tuckey de esfuerzo (Kg/cm ²) de adobe artesanal.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fuerza (KN) en adobe artesanal.....	19
Figura 2. Fuerza (Kg) en adobe artesanal	21
Figura 3. Área (cm ²) en adobe artesanal	24
Figura 4. Esfuerzo (Kg/cm ²) de adobe artesanal.....	26

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la proporción de carbón vegetal molido en la resistencia a la compresión del adobe artesanal en Loreto. Se utilizó un diseño experimental con cuatro tratamientos: 0%, 10%, 20% y 30% de carbón vegetal molido mezclado con tierra, con 5 repeticiones. Las pruebas de resistencia a la compresión se realizaron midiendo la fuerza en kilonewtons (kN) y kilogramos (Kg), el área de superficie (cm²) y el esfuerzo (Kg/cm²). Los resultados mostraron que la adición de carbón vegetal molido mejora significativamente la resistencia a la compresión del adobe. El análisis de varianza (ANVA) indicó que las diferencias observadas eran significativas ($p < 0.0001$) con un R^2 ajustado de 0.81 para la fuerza y 0.68 para el esfuerzo, demostrando una relación fuerte entre la proporción de carbón y la resistencia del adobe. La prueba de Tukey reveló que los adobes con 20% de carbón vegetal molido soportaban hasta 41.69 kN y 4250.99 Kg, mientras que el adobe sin carbón soportaba 29.59 kN y 3017.54 Kg. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en el área (cm²). En conclusión, la proporción de 20% de carbón vegetal molido optimiza la resistencia y durabilidad del adobe artesanal, haciendo el material más robusto para aplicaciones estructurales. Se recomienda seguir explorando materiales adicionales que puedan mejorar aún más estas propiedades, especialmente para construcciones rurales.

Palabras clave. Resistencia a la compresión, durabilidad, aditivos naturales en adobe artesanal.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of the proportion of ground charcoal on the compressive strength of handmade adobe in Loreto. An experimental design was used with four treatments: 0%, 10%, 20%, and 30% of ground charcoal mixed with soil, with 5 repetitions. Compression strength tests were conducted by measuring the force in kilonewtons (kN) and kilograms (Kg), surface area (cm²), and stress (Kg/cm²). The results showed that the addition of ground charcoal significantly improves the compressive strength of adobe. Analysis of variance (ANOVA) indicated that the observed differences were significant ($p < 0.0001$) with an adjusted R² of 0.81 for force and 0.68 for stress, demonstrating a strong relationship between the proportion of charcoal and adobe strength. The Tukey test revealed that adobe with 20% ground charcoal could withstand up to 41.69 kN and 4250.99 Kg, while adobe without charcoal could withstand 29.59 kN and 3017.54 Kg. However, no significant differences were found in the surface area (cm²).

In conclusion, the 20% proportion of ground charcoal optimizes the strength and durability of handmade adobe, making the material more robust for structural applications. It is recommended to continue exploring additional materials that can further enhance these properties, especially for rural construction.

Keywords: compressive strength, durability, natural additives in handmade adobe.

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de materiales de construcción sostenibles y duraderos es una prioridad en muchas regiones rurales, donde los recursos económicos y tecnológicos son limitados. El adobe, un material de construcción tradicional hecho de tierra, agua y a menudo reforzado con fibras naturales, ha sido utilizado durante siglos debido a su bajo costo y accesibilidad. Sin embargo, la durabilidad y resistencia del adobe pueden ser insuficientes para algunas aplicaciones estructurales, lo que ha llevado a la investigación de diversos aditivos naturales que pueden mejorar sus propiedades mecánicas. Diversos estudios han explorado la adición de materiales orgánicos y residuos agroindustriales para mejorar la resistencia a la compresión del adobe.

Flores (1) evaluó la resistencia a la compresión del adobe utilizando cáscara de arroz en Zungarococha, Loreto, encontrando mejoras significativas con proporciones de 30%, 40%, y 50%, alcanzando valores de resistencia de hasta 16.35 Kg/cm². Por otro lado, **Tello (2)** investigó el uso de diferentes tipos de tierra combinados con cáscara de arroz, reportando que el adobe hecho con tierra arcillosa y 30% de cáscara de arroz alcanzó una resistencia máxima de 28.62 Kg/cm². En otro estudio, **Castro (3)** analizó la incorporación de ceniza de cáscara de arroz y cal en suelos arcillosos, mostrando que esta mezcla mejora la resistencia a la compresión hasta 9.96 Kg/cm². De manera similar, **Weill (4)** evaluó el efecto del aserrín en la resistencia del adobe, observando un incremento en la resistencia a la compresión con niveles de aserrín del 10% y 20%, alcanzando valores de hasta 13.99 Kg/cm².

Mantilla (5) y **Zavala et al. (6)** también contribuyeron al conocimiento al estudiar la adición de viruta, caucho y otros residuos orgánicos, concluyendo que estos materiales pueden mejorar las propiedades mecánicas del adobe. En particular, Mantilla encontró que la incorporación de viruta mejoraba la resistencia a la compresión hasta 30.25 Kg/cm², mientras que Zavala et al. informaron aumentos del

24.12% en la resistencia a la compresión al agregar fibras de polímero, bagazo de agave y aserrín.

A pesar de estos avances, la búsqueda de aditivos que optimicen aún más las propiedades del adobe continúa. En este contexto, el carbón vegetal molido emerge como un aditivo potencialmente eficaz debido a su disponibilidad y propiedades estructurales beneficiosas. La presente investigación se propone evaluar el efecto de diferentes proporciones de carbón vegetal molido en la resistencia a la compresión del adobe artesanal en Loreto, con el objetivo principal de determinar si este aditivo puede mejorar significativamente la capacidad de carga y durabilidad del material, contribuyendo así a la construcción de estructuras más seguras y eficientes en zonas rurales.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Flores (1) en su trabajo de tesis profesional Evaluación de niveles de cascara de arroz y su influencia sobre la resistencia a la compresión en la fabricación de adobe. Zungarococha – Loreto. 2019. Se evaluó la resistencia a la compresión del adobe compactado con diferentes niveles de adición de cascarilla de arroz.

El suelo utilizado para producir estas unidades fue tomado de la comunidad de Zungarococha, Facultad de Agricultura de la Universidad Nacional de la Amazonía, Perú.

El porcentaje de cascarilla de arroz utilizado en la producción de adobe fue del 30%, 40% y 50% con relación a la cantidad de muestra de suelo.

Los resultados de Adobe mostraron un aumento en la resistencia a la compresión con valores promedio de 15,28 Kg/cm², 16,35 Kg/cm², 15,52 Kg/cm².

Tello (2) en su trabajo de investigación “Tipos de adobe de cascarilla de arroz y su resistencia a la compresión en Zungarococha. Loreto, 2020”.

El objetivo fue evaluar la resistencia a la compresión del adobe artesanal elaborado a partir de dos tipos de suelo, uno arcilloso y otro arcilloso arenoso que contiene un 30% de cascarilla de arroz.

El suelo utilizado para producir estas unidades fue tomado de la comunidad de Zungarococha, Facultad de Agricultura de la Universidad Nacional de la Amazonía, Perú.

Este trabajo se llevó a cabo en un laboratorio de suelos.

Los resultados muestran que la arcilla a base de arcilla tiene la mayor resistencia a la compresión ($p < 0,01$) con una tensión promedio de 28,62 kg/cm², que es

mayor que la resistencia a la compresión promedio del adobe molido de 11,21 kg/cm².

Castro (3) en su trabajo de investigación profesional “Estabilización de arcillas con ceniza de cascarilla de arroz para mejoramiento de bases” evaluó la incorporación de ceniza de cascarilla de arroz en la capa base de la carretera.

Para ello, realizaron pruebas de laboratorio según normas MTC y ASTM para determinar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras de arcilla.

El porcentaje de ceniza fue del 10%, 20%, 30% y 40%, adicionándose en cada caso un 3% de cal.

De manera similar agregue solo el 10%, 20%, 30% y 40% de porcentaje de ganancia. Los resultados obtenidos durante el estudio indicaron un aumento en la resistencia a la compresión libre de las dos combinaciones propuestas.

Cuando la arcilla se mezcla con ceniza de cáscara de arroz y cal, su peso aumenta de 6,91 kg/cm² a 9,96 kg/cm² al 10% de contenido aumentó a 8,77 kg/cm², por lo que se puede concluir que la ceniza de cáscara de arroz; El suelo estabilizado produjo cambios favorables que permitieron el uso de este material a nivel subterráneo.

Weill (4) en su trabajo intenta evaluar la resistencia a la compresión del adobe artesanal mezclado con dos niveles de aserrín, uno al 10% y otro al 20%, para diagnosticar sus ventajas durante la preparación.

Se produjeron un total de 15 adobes compactados añadiendo diferentes proporciones de aserrín.

Los resultados muestran que se logran 10.70 kg/cm², 10.13 kg/cm², 8.02 kg/cm², 7.05 kg/cm², 8.23 kg/cm² sin aplicación de aserrín y la resistencia a la compresión promedio es de 8.83 kg/cm², 10%. adición La obtención de aserrín da como resultado 10.93 kg/cm², 12.46 kg/cm², 12.13 kg/cm², 13.65 kg/cm²,

11.64 kg/cm², la resistencia a la compresión promedio es de 12.6 kg/cm² con una adición del 20% de aserrín. 11,32 kg/cm² 13,99 kg/cm², 13,68 kg/cm², 12,58 kg/cm², 13,22 kg/cm² y la resistencia a la compresión promedio es 12,96 kg/cm².

Mantilla (5) en su trabajo “Cambios en las Propiedades Físicas y Mecánicas del Adobe por Incorporación de Astillas y Caucho”, evaluó los cambios en las propiedades físicas y mecánicas del Adobe con la adición de astillas y caucho (dosis del 2% y 3%) y 5%, evaluados por resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y su comportamiento frente a la absorción y saturación total.

Se obtuvieron los siguientes resultados, donde la resistencia a la compresión de los bloques de adobe con la adición de un 3% de astillas de madera alcanzó un valor máximo de 30.25 kg/cm² y la resistencia a la flexión se registró con un valor máximo de 8.35 kg/cm² valores superior a los resultados de resistencia obtenido con adobe convencional. El porcentaje de absorción se redujo en un 4% con la adición de 5% de caucho, y el desgaste de los bloques de adobe también se redujo con la adición de caucho completamente saturado.

Se concluyó que las propiedades físicas y mecánicas del adobe mejoraron con la adición de virutas y caucho.

Zavala et al (6) nos menciona en su trabajo de investigación “Usos de residuos agroindustriales para la estabilización de adobes, Barcelona”, manifiestan que la incorporación de fibras poliméricas, bagazo de agave y aserrín en proporciones del 5% y 10% del volumen del adobe incrementó la resistencia a flexión y compresión del adobe.

Los autores concluyeron que la adición de estas fibras aumentó su resistencia a la compresión en un 24,12% y su resistencia a la flexión en un 7,86%

Arellano et al. (7) en su trabajo de investigación "Heces, Residuos, Cosas Uderful, México" afirman que los sitios ideales para la construcción incluyen tierra, arcilla, arena y algunos materiales orgánicos fibrosos (crin, paja) y estiércol de vaca., que actúa como tejido tiene consistencia y robustez.

Los autores concluyeron que la composición del adobe debe contener un 75% de heces, reduciendo así su peso en un 20% y mejorando así sus propiedades mecánicas.

Benites (8) en su obra "Estabilización de adobes con extracto de adobe (furcraea andina)" muestra que, en la ciudad de Piura, para obtener el título de ingeniero civil, agregaba extracto de adobe para preparar estabilizantes y se sometía a una maceración. proceso de 5 a 20 días antes de incorporarlo al adobe, y luego los autores concluyeron que el extracto de Cabuya requirió hasta 10 días de maceración para activar sus propiedades estabilizadoras y mejorar la resistencia del adobe a las pruebas de remojo, además afirmaron que "la resistencia a la compresión y La resistencia a la flexión aumentó un 9,6% y un 13%, respectivamente.

Rivera (9) en su trabajo de investigación "Adobe y otros materiales de sistemas constructivos de tierra indígena: caracterización de propósitos estructurales" clasificó la Iglesia Memorial de Colombia construida con Adobe y en colaboración con la Capilla doctrinara de Tausa.

El proceso de seleccionar y realizar de forma independiente diversas pruebas que caractericen los materiales del suelo en los bienes culturales e históricos seleccionados.

Los resultados se obtuvieron tomando 27 muestras de cada iglesia y analizando sus propiedades químicas, físicas y mecánicas.

Las propiedades mecánicas de los materiales de este tipo de construcciones se refieren principalmente a los ensayos realizados en laboratorios de materiales.

Las pruebas de compresión simples en unidades Adobe alcanzaron 3,04 MPa (30,40 kg/cm²).

Un adobe totalmente estabilizado debe limitar la proporción de agua absorbible al 4% de su peso, por lo que el peso de aditivos requeridos varía del 6% al 12% de su peso total.

Cotrina et al. (10) Esto nuevamente apunta al problema de las casas con paredes de arcilla en el área de Chaquiertrit del Departamento de Luya, Perú, porque los habitantes cultivan muebles de cualquier suelo (tierra orgánica, arcilla, marga, etc.; agua).

Como resultado, los adobes están sujetos a daños como agrietamiento, degradación y pérdida de material con el tiempo y tienen malas propiedades de compresión, muchas de las cuales no superan los 12 kg/cm² (resistencia mínima a la compresión según RNE E-080, 2017).

Cotrina et al. (10) también mostraron que el 95% de los hogares utilizan el adobe como material principal para las paredes debido a su bajo costo y fácil disponibilidad. Los adobes actúan como muros de carga en estas viviendas y generalmente tienen poca resistencia y estabilidad, lo que las hace susceptibles a los movimientos del suelo.

La investigación busca alternativas para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del adobe tradicional, como la resistencia a la compresión, flexión y absorción, por lo que se recomienda el uso de aditivos de ceniza (proveniente de la quema de madera) y arena.

Cotrina et al (10) mencionaron que estos materiales están fácilmente disponibles en nuestro medio ambiente y se espera que mejoren el desempeño del adobe bajo presión, condiciones climáticas y reduzcan grietas y fisuras en las viviendas.

La importancia de agregar ceniza es que mejora las propiedades físicas del adobe, mientras que la adición de arena ayuda a brindar cohesión interna y evitar la contracción durante el secado.

1.2. Bases teóricas

Los ladrillos ecológicos son ladrillos que se construyen con materiales respetuosos con el medio ambiente y se producen de forma respetuosa con el medio ambiente, mientras que los ladrillos convencionales se fabrican y fabrican con materiales menos nocivos. (<http://www.enbuenasmanos.com/ladrillos-ecologicos>).

Ventajas de los ladrillos ecológicos.

Ya hemos adelantado algunas ventajas del ladrillo ecológico, pero en general sus ventajas son:

- Menos perjudicial para el ambiente, porque su fabricación no requiere mucha energía, así como el reciclaje de otros materiales de desecho.
- Actúan mejor como aislantes tanto para el frío, como para el calor exterior, por lo que se consume menos energía en el hogar.
- Son más económicos que los convencionales porque aprovechamos los residuos, pero cuando no es así, al ser mejores aislantes, hay economía de energía lo que amortiza la diferencia.
- Los materiales empleados en los ladrillos ecológicos hacen que éstos sean mejor manejables para el trabajador agilizando el tiempo de construcción y disminuyendo los gastos.

- Conseguimos eliminar el impacto ambiental ocasionados por los residuos.

Desventaja de los ladrillos ecológicos.

Estos ladrillos ecológicos recién están empezando a entrar en el mercado y en algunos lugares aún no se encuentran disponibles y hay que pedirlos. También tienen otra desventaja derivada de lo nuevo de este producto y es que, de momento, no existen variedades decorativas como los convencionales para decorar fachadas, muros, jardines, etc. (Juan José Sánchez Ortiz).

<https://construyendomicasa.com/2020/05/16/tierra-para-adobe-el-material-de-construccion-mas-barato/>

Diseñar con Adobe es una de las formas más comunes y antiguas de la humanidad. Esta es una técnica muy barata y relativamente fácil de realizar.

La gran ventaja del adobe frente a otros materiales es que, mezclándolo cuidadosamente con las correctas proporciones iguales de arcilla y arena, obtenemos un material térmicamente sano, ignífugo y a prueba de insectos.

Otra gran ventaja es que puedes utilizar tierra de tu propio suelo como materia prima y no se requiere mano de obra especializada.

No es que Adobe tuviera ningún terreno adecuado disponible.

Es cierto que algunos suelos son menos adecuados que otros, pero esto se puede solucionar con algunas modificaciones. También hay terrenos baldíos, pero son muy raros.

Si el suelo tiene demasiada arena y una pequeña cantidad de arcilla, este problema se puede solucionar agregando tierra cercana que contenga arcilla. Lo más habitual es que nos encontremos con suelos con un alto contenido de arcilla, pero un bajo contenido de arena, lo que se puede solucionar añadiendo arena común.

Si no se dispone de arena, se puede agregar paja, bagazo, estiércol y otros materiales fibrosos para que le de temple al adobe.

Calderón (11) Adobe Estabilizado contiene materiales agregados para mejorar las propiedades de resistencia del bloque.

El material básico para fabricar adobe es la tierra (que a su vez incluye arcilla, limo, arena, grava y agua) y cualquier material agregado para mejorar las propiedades finales del adobe se llama estabilizantes.

La cal, el cemento y el asfalto se encuentran entre los estabilizantes más utilizados, pero como veremos más adelante, también existen una gran cantidad de estabilizantes minerales, orgánicos y sintéticos (Calderón, 2013).

De La Peña (12) mencionó que el adobe tiene muy buenas cualidades arquitectónicas desde el punto de vista del confort porque tiene buenas propiedades térmicas y acústicas.

Una de las características del adobe es su inercia térmica, caracterizada por un lento calentamiento y enfriamiento, las casas de adobe tienen sombra durante las noches, debido a que durante este tiempo las paredes recuperan el calor acumulado durante el día con ayuda de la radiación, por el contrario, durante el día que son períodos en los que las paredes almacenan calor.

1.3. Definición de términos básicos

El adobe, es un ladrillo sin cocer, es una pieza para construcción hecha de una masa de barro (arcilla y arena), mezclado a veces con paja, moldeada en forma de ladrillo y secada al sol; con ellos se construyen diversos tipos de elementos constructivos, como paredes, muros y arcos. La técnica de elaborarlos y su uso están extendidos por todo el mundo, encontrándose en muchas culturas que nunca tuvieron relación entre sí. <https://es.wikipedia.org/wiki/Adobe>

CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1. Formulación de la hipótesis

2.1.1. Hipótesis del investigador

La proporción de carbón vegetal molido tiene efecto significativo en la resistencia a la compresión del adobe artesanal.

2.2. Variables y su operacionalización

2.2.1. Identificación de las variables

Variable independiente (X)

X. Proporción de carbón

Variable dependiente (Y)

Y. Resistencia a la compresión

OPERACIONALIZACIÓN

Variable independiente (X)

X. Proporción de carbón

X₁. Sin carbón

X₂. 10 % de carbón

X₃. 20 % de carbón

X₄. 30 % de carbón

Variable dependiente (Y)

Y. Resistencia a la compresión

Y₁. Fuerza

Y_{1.1}. Fuerza en kilonewtons (kN)

Y_{1.2}. Fuerza en kilogramos (Kg)

Y₂. Esfuerzo

Y_{2.1}. Área (cm²)

Y_{2.2}. Esfuerzo (Kg/cm²)

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Localización del área experimental

El trabajo de elaboración de adobes se llevó a cabo en los terrenos de la Facultad de Agronomía, ubicados en el caserío de Zungarococha, perteneciente a la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, en Loreto. Esta área fue seleccionada debido a su accesibilidad y a las condiciones óptimas del suelo para la producción de adobe artesanal. Los terrenos proporcionaron un ambiente controlado y adecuado para la ejecución de los experimentos necesarios para esta investigación.

3.2. Condiciones climáticas

De acuerdo con la clasificación de Holdridge, el área de Zungarococha se clasifica como un bosque húmedo tropical. Esta clasificación se caracteriza por condiciones climáticas específicas que incluyen: Las lluvias en la región oscilan entre 2000 y 4000 mm por año, proporcionando una humedad constante que puede influir en el proceso de secado y la durabilidad de los adobes. La temperatura promedio anual es superior a los 26°C, lo que crea un ambiente cálido que puede acelerar el proceso de secado de los adobes, pero también implica desafíos para mantener la integridad estructural del material durante su elaboración y almacenamiento.

3.3. Procedimiento de recolección de datos

Para la recolección de datos en esta investigación, se llevaron a cabo dos fases distintas: la fase de campo y la fase de laboratorio. A continuación, se detallan las técnicas e instrumentos utilizados en cada fase.

I. Fase de campo

1. Recolección de tierra. Se recolectó la tierra en el campo, específicamente en los terrenos de la Facultad de Agronomía en el caserío de Zungarococha. La tierra fue secada al aire libre para facilitar su posterior molido.
2. Molido del carbón. Se procedió al molido del carbón vegetal hasta obtener un polvo fino que se pueda mezclar homogéneamente con la tierra.
3. Mezcla de los tratamientos. Se preparó las mezclas de tierra y carbón vegetal molido de acuerdo a los tratamientos establecidos: 0%, 10%, 20% y 30% de carbón vegetal molido. Estas proporciones se medirán en relación al peso seco de la tierra.
4. Formado de los adobes. Se llenaron las adoberas (moldes para adobes) con las mezclas preparadas y se colocó en el piso para su secado. Cada adobe se moldeó con cuidado para asegurar su uniformidad.
5. Pesado de las muestras. Una vez formados, se procedió a pesar cada uno de los adobes registrando su peso inicial antes de iniciar el proceso de secado y pruebas de resistencia.
6. Análisis del modelo y fallas. Durante la elaboración de los adobes, se analizó su modelo y se identificarán posibles fallas. Cualquier defecto identificado se ha corregido antes de continuar con el proceso, asegurando así la calidad y consistencia de las muestras.

II. Fase de laboratorio

1. La prueba de textura de suelo se elaboró en el laboratorio de suelo del CIRNA de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana
2. Pruebas mecánicas. Las pruebas de resistencia de compresión se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos y ensayos de materiales del Gobierno Regional de Transportes y comunicaciones. Estas pruebas se llevaron a cabo utilizando equipos de compresión estandarizados, que luego se midió la fuerza aplicada a cada adobe hasta el punto de fallo.

Las técnicas e instrumentos utilizados en estas fases aseguran que los datos recolectados sean precisos y confiables, permitiendo una evaluación rigurosa del efecto del carbón vegetal molido en la resistencia a la compresión del adobe artesanal.

3.4. Material experimental

El material experimental utilizado en esta investigación consistió en muestras de adobe artesanal preparadas con diferentes proporciones de carbón vegetal molido y tierra.

3.5. Factor de estudio

El factor de estudio principal en esta investigación fue la proporción de carbón vegetal molido agregado a la mezcla de tierra para la elaboración de adobes artesanales. Este factor se evaluó en cuatro niveles: 0%, 10%, 20% y 30%, con el objetivo de determinar cómo cada proporción afecta la resistencia a la compresión del adobe. Las pruebas se realizaron tanto en el campo como en el laboratorio, y se analizaron variables como la fuerza en kilonewtons (kN) y kilogramos (Kg), el área de superficie (cm²) y el esfuerzo (Kg/cm²) para evaluar la efectividad del carbón vegetal como aditivo en la mejora de las propiedades mecánicas del adobe artesanal.

3.6. Descripción de los tratamientos

Trat.	Proporción de carbón
T1	Sin carbón
T2	0.1 carbón
T3	0.2 carbón
T4	0.3 carbón

3.7. Diseño metodológico

3.7.1. Población objetivo

La población objetivo de esta investigación está constituida por los adobes artesanales utilizados en construcciones rurales en la región de Loreto. Este estudio se enfoca específicamente en adobes producidos con tierra local y diferentes proporciones de carbón vegetal molido, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas y su resistencia a la compresión.

3.7.2. Muestreo

El muestreo realizado en esta investigación fue de tipo no probabilístico intencional, basado en la selección de muestras representativas de adobes con diferentes proporciones de carbón vegetal molido. Se elaboraron y probaron cinco réplicas para cada uno de los cuatro tratamientos, sumando un total de 20 muestras de adobe.

3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos en esta investigación se emplearon diversas técnicas e instrumentos durante las fases de campo y de laboratorio. En la fase de campo, se utilizaron adoberas estándar para moldear las muestras de adobe con diferentes proporciones de carbón vegetal molido (0%, 10%, 20%, y 30%). Las muestras fueron pesadas utilizando una balanza de precisión para registrar su peso inicial. Posteriormente, las muestras fueron llevadas al laboratorio de suelos, donde se realizaron pruebas mecánicas de compresión utilizando una máquina de compresión para medir la fuerza aplicada hasta el punto de falla. Los datos recolectados incluyeron la fuerza en kilonewtons (kN) y kilogramos (Kg), el área de superficie (cm²) y el esfuerzo (Kg/cm²).

3.9. Evaluación de las variables dependientes

Las variables dependientes evaluadas en esta investigación fueron:

- Resistencia a la compresión (kN y Kg). Medida de la fuerza máxima que los adobes pueden soportar antes de fallar.
- Área de superficie (cm²). Superficie de la sección transversal de los adobes.
- Esfuerzo (Kg/cm²). Presión que los adobes pueden soportar antes de romperse, calculada como la fuerza dividida por el área de la sección transversal.

3.10. Procesamiento y análisis de información

El procesamiento y análisis de la información recolectada se llevó a cabo utilizando programas de análisis estadístico específicamente designados para este propósito. Los resultados obtenidos fueron estructurados, codificados y registrados de manera que facilitaran su análisis e interpretación. Para la evaluación y análisis de los datos recopilados, se emplearon herramientas como el programa InfoStat y el paquete Statigraphic, los cuales permitieron realizar análisis estadísticos detallados. Estos programas fueron utilizados para realizar análisis de varianza (ANVA), pruebas de comparación de medias (prueba de Tukey) y generar representaciones gráficas. Estos análisis estadísticos y gráficos contribuyeron a comprender mejor los resultados del estudio, permitiendo identificar las diferencias significativas entre los tratamientos y evaluar el efecto de las proporciones de carbón vegetal molido en las propiedades mecánicas del adobe artesanal.

3.11. Esquema del Análisis de Variancia

Fuente de Variabilidad	GI	SC	CM	Ft	p-value
Proporción de carbón molido	3	Sctrat	Sctra/gltrat	Cmtrat/CMEE	
Error	16	Dif	SCEE/GI EE		
Total	19	Sctotal			

3.12. Aspectos éticos

Durante todo el proceso de investigación, se observaron y respetaron estrictamente las normas éticas que rigen la conducta de un investigador serio y comprometido. Se dio especial atención a garantizar la veracidad y la integridad de los resultados obtenidos en el experimento, asegurando que todos los datos recolectados y analizados fueran precisos y libres de manipulación.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Fuerza en kilonewtons (kN)

El análisis de ANVA muestra que la proporción de carbón molido tiene un efecto significativo en la resistencia a la compresión en kilonewtons (kN) del adobe artesanal. El p-valor < 0.0001 indica que las diferencias observadas no son debidas al azar.

Tabla 1. Análisis de variancia de fuerza (kN) en adobe artesanal

Fuente de Variabilidad	GI	SC	CM	Ft	p-value
Proporción de carbón molido	3	423.51	141.17	28.72227874	0.0000
Error	16	78.64	4.92		
Total	19	502.15			
CV = 5.96%		R ² Aj 0.81		DMS 4.0114	

El Coeficiente de Variación del 5.96% indica que la variabilidad relativa en relación con la media es baja, lo que sugiere una alta precisión experimental. El valor R²aj de 0.81, demuestra que el 81% de la variabilidad en la resistencia a la compresión puede ser explicada por las diferentes proporciones de carbón molido y la DMS de 4.01 establece la diferencia mínima requerida entre las medias de las diferentes proporciones de carbón molido para que sean consideradas significativamente distintas.

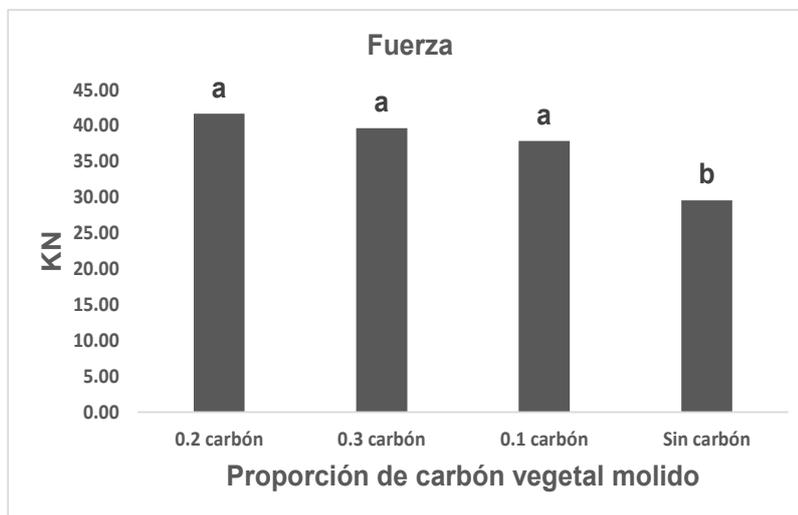
Tabla 2. Prueba de Tuckey de fuerza (kN) en adobe artesanal

Proporción de carbón molido	Medias (kN)	E.E	Sig
0.2 carbón	41.69	101.10	a
0.3 carbón	39.69	101.10	a
0.1 carbón	37.90	101.10	a
Sin carbón	29.59	101.10	b
Promedio general	37.22		

La tabla de Tukey muestra las medias de la resistencia a la compresión (en kilonewtons, kN) para diferentes proporciones de carbón molido en la

elaboración de adobe artesanal, indicando que cualquier adición de carbón (0.1, 0.2, o 0.3) mejora significativamente la resistencia a la compresión en comparación con el adobe sin carbón. El adobe sin carbón tiene una resistencia significativamente menor, soportando hasta 29.59 kN antes de fallar o romperse. En contraste, el adobe con 0.1 proporción de carbón molido puede soportar hasta 37.90 kN, el adobe con 0.2 proporción de carbón molido puede soportar hasta 41.69 kN, y el adobe con 0.3 proporción de carbón molido puede soportar hasta 39.69 kN.

Figura 1. Fuerza (KN) en adobe artesanal



La figura 1 muestra que la adición de cualquier proporción de carbón molido (0.1, 0.2, o 0.3) mejora significativamente la resistencia del adobe en comparación con el adobe sin carbón, con el adobe sin carbón soportando hasta 29.59 kN y el adobe con 0.2 proporción de carbón alcanzando la mayor resistencia a 41.69 kN. Estos resultados del incremento en la resistencia a la compresión significan que el adobe con carbón molido puede soportar una mayor cantidad de fuerza antes de romperse. Así, el adobe con 0.2 de carbón molido puede soportar aproximadamente 12.1 kN más de fuerza que el adobe sin carbón (41.69 kN frente a 29.59 kN).

Este incremento en la resistencia a la compresión significa que el adobe con carbón molido puede soportar una mayor cantidad de fuerza antes de romperse, indicando una mejora notable en la capacidad de carga y durabilidad del material.

4.2. Fuerza en kilogramos (Kg)

El análisis de ANVA muestra que la proporción de carbón molido tiene un efecto significativo en la resistencia a la compresión en kilogramos (Kg) del adobe artesanal. El p-valor < 0.0001 indica que las diferencias observadas no son debidas al azar.

Tabla 3. Análisis de variancia de fuerza (Kg) en adobe artesanal

Fuente de Variabilidad	GI	SC	CM	Ft	p-value
Proporción de carbón molido	3	4403799.91	1467933.30	28.72460875	0.0000
Error	16	817658.93	51103.68		
Total	19	5221458.84			
	CV = 5.96%	R ² Aj 0.81		DMS 409.05	

El Coeficiente de Variación del 5.96% indica que la variabilidad relativa en relación con la media es baja, lo que sugiere una alta precisión experimental. El valor R²aj de 0.81, demuestra que el 81% de la variabilidad en la resistencia a la compresión puede ser explicada por las diferentes proporciones de carbón molido y la DMS de 409.05 establece la diferencia mínima requerida entre las medias de las diferentes proporciones de carbón molido para que sean consideradas significativamente distintas.

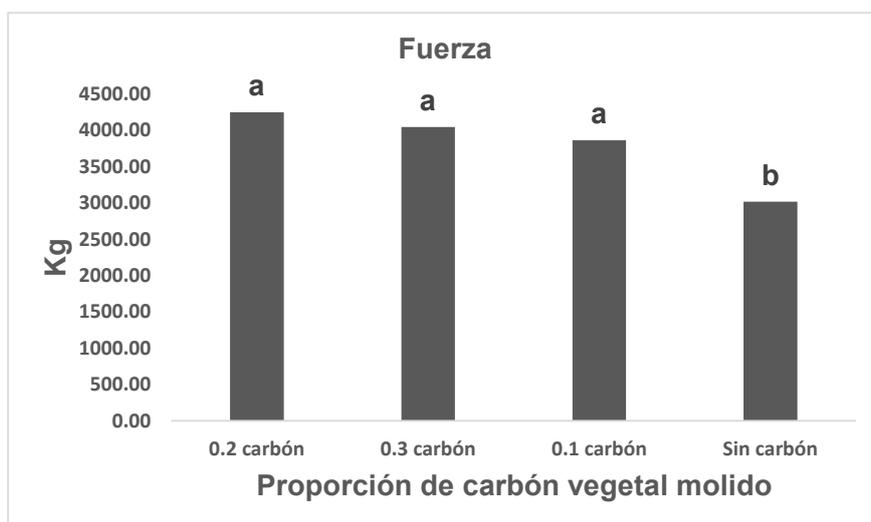
Tabla 4. Prueba de Tuckey de fuerza (Kg) en adobe artesanal

Proporción de carbón molido	Medias (Kg)	E.E	Sig
0.2 carbón	4250.99	0.99	a
0.3 carbón	4047.05	0.99	a
0.1 carbón	3864.72	0.99	a
Sin carbón	3017.54	0.99	b
Promedio general	3795.08		

La tabla de Tukey muestra las medias de la resistencia a la compresión (en kilogramos, kg) para diferentes proporciones de carbón molido en la elaboración de adobe artesanal, indicando que cualquier adición de carbón (0.1, 0.2, o 0.3) mejora significativamente la resistencia a la compresión en comparación con el adobe sin carbón. El adobe sin carbón tiene una resistencia significativamente menor, soportando hasta 3017.54 kg antes de fallar o romperse. En contraste, el adobe con 0.2 proporción de carbón molido puede soportar hasta 4250.99 kg.

La fuerza en kilogramos (Kg) es la cantidad de peso que la muestra de adobe puede soportar antes de ceder bajo la presión aplicada. Específicamente, la proporción del 20% de carbón vegetal molido más tierra en la elaboración del adobe artesanal muestra una mejora significativa en la resistencia a la compresión. El adobe con 20% de carbón molido soporta hasta 4250.99 kg, lo que representa un incremento notable en la capacidad de carga y durabilidad del material en comparación con el adobe sin carbón, haciéndolo más resistente y adecuado para aplicaciones que requieren una mayor capacidad de carga.

Figura 2. Fuerza (Kg) en adobe artesanal



La figura muestra que la adición de cualquier proporción de carbón molido (0.1, 0.2, o 0.3) mejora significativamente la resistencia del adobe en comparación con el adobe sin carbón. La diferencia en la resistencia a la compresión significa

que el adobe con 0.2 proporción de carbón molido puede soportar aproximadamente 1233.45 kg más de fuerza que el adobe sin carbón (4250.99 kg frente a 3017.54 kg). Estos resultados indican que el adobe con carbón molido es más robusto y duradero, soportando una mayor cantidad de fuerza antes de romperse. La adición de carbón molido mejora notablemente la capacidad de carga y durabilidad del adobe artesanal.

4.3. Area (cm²)

El análisis de varianza sugiere que la proporción de carbón molido no tiene un efecto significativo sobre el área (cm²) ($p > 0.05$) de los bloques de adobe en términos de su resistencia a la compresión. Aunque hay una variación observada, no es suficiente para afirmar que el carbón molido influye de manera decisiva en esta variable específica.

Tabla 5. Análisis de variancia de área (cm²) de adobe artesanal

Fuente de Variabilidad	GI	SC	CM	Ft	p-value
Proporción de carbón molido	3	547.76	182.59	2.49322512	0.0971
Error	16	1171.73	73.23		
Total	19	1719.49			
	CV = 3.26%	R2Aj 0.19		DMS 15.485	

El Coeficiente de Variabilidad de 3.26% indica que la variabilidad relativa en relación con la media es baja, lo que sugiere que los datos son bastante consistentes y homogéneos. El R² ajustado indica que aproximadamente el 19% de la variabilidad en el área (cm²) puede explicarse por las diferencias en la proporción de carbón molido. Aunque este valor sugiere que hay cierta relación, no es particularmente alto, lo que refuerza la conclusión del p-valor de que la proporción de carbón molido no tiene un efecto significativo y, la DMS de 15.185 establece la diferencia mínima requerida entre las medias de las diferentes proporciones de carbón molido para que sean consideradas significativamente distintas.

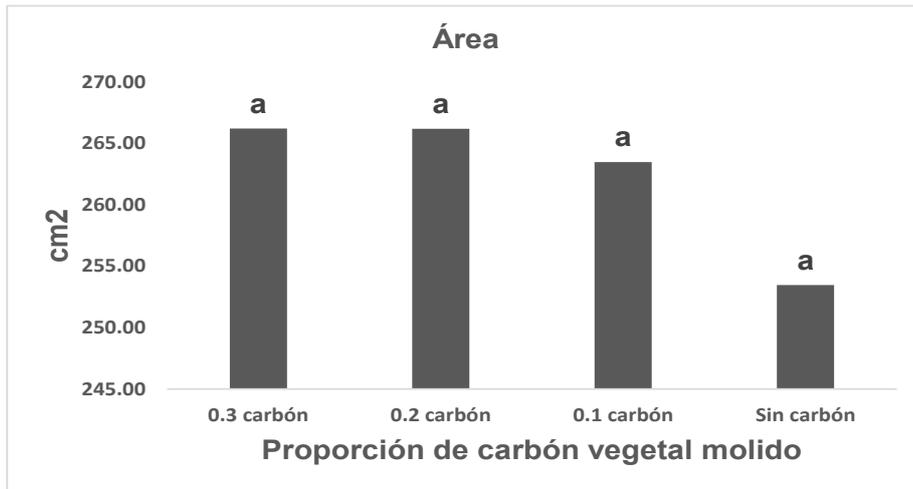
Las variaciones en las áreas medidas, sugiere que la proporción de carbón molido no afecta el área del adobe de manera significativa, es a decir, que mientras la proporción de carbón molido puede mejorar otras propiedades del adobe (como la resistencia a la compresión), no tiene un impacto notable en el área de la sección transversal del material.

Tabla 6. Prueba de Tuckey de área (cm²) de adobe artesanal

Proporción de carbón molido	Medias (cm²)	E.E	Sig
0.3 carbón	266.21	3.83	a
0.2 carbón	266.19	3.83	a
0.1 carbón	263.48	3.83	a
Sin carbón	253.48	3.83	a
Promedio general	262.34		

La tabla de Tukey muestra que no hay diferencias significativas entre las proporciones de carbón molido y la condición sin carbón en términos del área (cm²). Esto significa que, estadísticamente, todas las proporciones de carbón molido y la condición sin carbón tienen áreas similares, y las diferencias observadas en las medias no son suficientes para considerarlas significativamente distintas. El adobe con 0.3 proporción de carbón molido tiene un área de 266.21 cm². El adobe con 0.2 proporción de carbón molido tiene un área de 266.19 cm². El adobe con 0.1 proporción de carbón molido tiene un área de 263.48 cm². El adobe sin carbón tiene un área de 253.48 cm². La prueba de Tukey sugiere que la adición de carbón molido en diferentes proporciones (0.1, 0.2, o 0.3) no produce una diferencia significativa en el área (cm²) del adobe artesanal en comparación con el adobe sin carbón.

Figura 3. Área (cm²) en adobe artesanal



La figura muestra el área (en cm²) del adobe artesanal con diferentes proporciones de carbón molido (0.1, 0.2, o 0.3) en comparación con el adobe sin carbón. El área, medida en centímetros cuadrados (cm²), se refiere a la superficie de la sección transversal del adobe artesanal sobre la cual se aplica la fuerza de compresión durante la prueba de resistencia.

La adición de carbón molido en diferentes proporciones no produce una diferencia significativa en el área (cm²) del adobe artesanal en comparación con el adobe sin carbón. A pesar de las ligeras variaciones en las áreas medidas, estas diferencias no son estadísticamente significativas, indicando que la proporción de carbón molido no afecta el área del adobe de manera significativa. En términos de aplicación práctica, esto sugiere que mientras la proporción de carbón molido puede mejorar otras propiedades del adobe (como la resistencia a la compresión), no tiene un impacto notable en el área de la sección transversal del material.

4.4. Esfuerzo (Kg/cm²)

El análisis de varianza sugiere que la proporción de carbón molido tiene un efecto significativo sobre el esfuerzo (Kg/cm²) del adobe artesanal ($p < 0.001$). Esto implica que la adición de carbón molido en diferentes proporciones afecta significativamente la capacidad del adobe para soportar presión antes de romperse, mejorando su resistencia a la compresión y, por ende, su durabilidad y calidad estructural.

Tabla 7. Análisis de variancia de esfuerzo (Kg/cm²) de adobe artesanal

Fuente de Variabilidad	GI	SC	CM	Ft	p-value
Proporción de carbón molido	3	46.93	15.64	14.6028783	0.0001
Error	16	17.14	1.07		
Total	19	64.07			
	CV = 7.16%	R ² Aj 0.68		DMS 1.872	

El CV es 7.16%, lo cual indica una variabilidad relativa en relación con la media. Un CV moderado sugiere que los datos son bastante consistentes y homogéneos. El R² ajustado indica que aproximadamente el 68% de la variabilidad en el esfuerzo (Kg/cm²) puede explicarse por las diferencias en la proporción de carbón molido. Este valor sugiere una relación fuerte y significativa. La Diferencia Mínima Significativa (DMS) indica que 1.872 es el valor mínimo para comparar las medias de los diferentes grupos y determinar si las diferencias observadas son estadísticamente significativas.

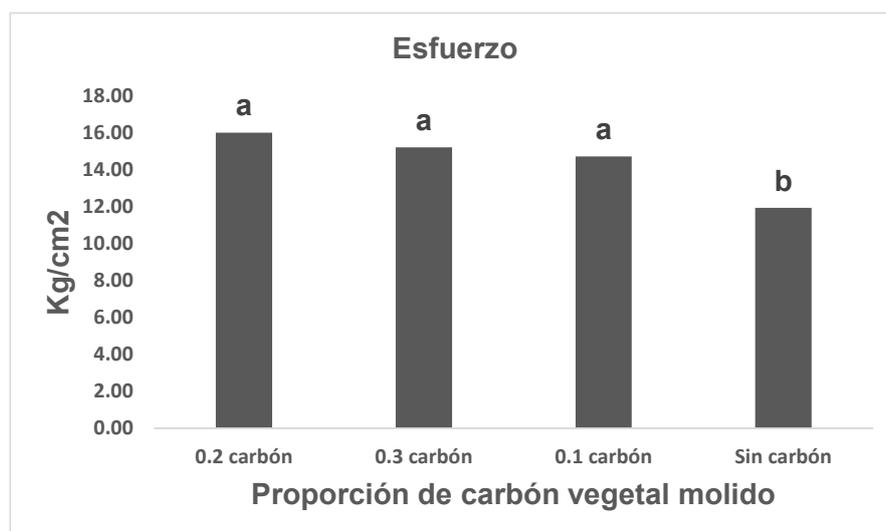
El esfuerzo (Kg/cm²) es un indicador clave de la resistencia a la compresión del adobe. Mide cuánto peso por unidad de área puede soportar el material antes de ceder o romperse.

Tabla 8. Prueba de Tuckey de esfuerzo (Kg/cm²) de adobe artesanal

Proporción de carbón molido	Medias (Kg/cm ²)	E.E	Sig
0.2 carbón	15.99	0.46	a
0.3 carbón	15.19	0.46	a
0.1 carbón	14.71	0.46	a
Sin carbón	11.92	0.46	b
Promedio general	14.45		

La tabla de Tukey muestra las medias del esfuerzo (en Kg/cm²) para diferentes proporciones de carbón molido en la elaboración de adobe artesanal. Sugiere que la adición de carbón molido en diferentes proporciones (0.1, 0.2, o 0.3) mejora significativamente el esfuerzo (Kg/cm²) del adobe artesanal en comparación con el adobe sin carbón. Esto implica que cualquier proporción de carbón molido hace que el adobe sea más fuerte y duradero, soportando una mayor cantidad de presión antes de romperse. La adición de carbón molido mejora notablemente la capacidad de carga y durabilidad del adobe artesanal en términos de esfuerzo (Kg/cm²).

Figura 4. Esfuerzo (Kg/cm²) de adobe artesanal



La figura muestra el esfuerzo (en Kg/cm²) del adobe artesanal con diferentes proporciones de carbón molido (0.1, 0.2, o 0.3) es estadísticamente significativa en comparación con el adobe sin carbón. El esfuerzo, medido en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm²), se refiere a la cantidad de fuerza que se aplica sobre una unidad de área del adobe artesanal durante una prueba de compresión. Esta variable es una medida de la presión que el adobe puede soportar antes de fallar estructuralmente. Este resultado sugiere que la adición de cualquier proporción de carbón molido (0.1, 0.2, o 0.3) mejora significativamente el esfuerzo (Kg/cm²) del adobe artesanal en comparación con el adobe sin carbón. Esto significa que el adobe con carbón molido puede soportar una mayor cantidad de presión antes de romperse. Se espera que la incorporación de carbón molido aumenta significativamente la resistencia del adobe, haciéndolo más fuerte y duradero. Así mismo, que el adobe puede soportar más peso por unidad de área, lo que es fundamental para la estabilidad y seguridad de las estructuras construidas con este material. De igual modo, al identificar la proporción óptima de carbón molido (como el 0.2, que muestra el mayor esfuerzo) puede ayudar a maximizar la resistencia del adobe sin comprometer otras propiedades del material.

En términos de aplicación práctica, esto sugiere que la adición de carbón molido no solo mejora la resistencia a la compresión del adobe, sino que también contribuye a la construcción de estructuras más seguras y duraderas, optimizando el uso de materiales en la elaboración del adobe artesanal en la región de Loreto.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

En esta investigación, se observó que la adición de carbón vegetal molido a la mezcla de adobe artesanal en Loreto tiene un efecto significativo en la resistencia a la compresión. Los resultados del análisis de varianza (ANVA) mostraron que el p-valor < 0.0001 para la resistencia medida en kilonewtons (kN) y kilogramos (Kg), indicando que las diferencias observadas son altamente significativas y no se deben al azar. Comparando estos resultados con los de **Flores (1)**, quien utilizó cáscara de arroz como aditivo, se observa que los valores de resistencia a la compresión en su estudio (15.28-16.35 Kg/cm²) son menores a los obtenidos en nuestro estudio con 20% de carbón vegetal molido (15.99 Kg/cm²). Esto sugiere que el carbón vegetal puede ser un aditivo más eficaz para mejorar la resistencia del adobe.

En cuanto al esfuerzo (Kg/cm²), nuestro estudio muestra que la proporción de 20% de carbón vegetal molido produce un esfuerzo de 15.99 Kg/cm², significativamente mayor que el adobe sin carbón (11.92 Kg/cm², $p < 0.001$). Este resultado es consistente con lo logrado por **Tello (2)**, quien reportó un valor de 28.62 Kg/cm² para adobe con tierra arcillosa y cáscara de arroz. Sin embargo, la mejora observada en nuestro estudio es notablemente superior en comparación con la mezcla de cáscara de arroz y tierra arcillo-arenosa que reportó un esfuerzo de 11.21 Kg/cm². Además, la comparación con el trabajo de **Weill (4)**, quien utilizó aserrín y obtuvo mejoras en la resistencia con valores promedio de 12.96 Kg/cm², destaca la eficacia del carbón vegetal molido.

Finalmente, en términos de área de superficie (cm²), nuestro análisis indicó que no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) con la adición de carbón vegetal molido, lo que es congruente con los resultados de estudios como el de **Castro (3)** y **Mantilla (5)**, quienes observaron que otros aditivos como la ceniza de cáscara de arroz y la viruta también tienen efectos limitados en esta variable. De este estudio, se puede

inferir que la incorporación de carbón vegetal molido en la elaboración de adobe artesanal no solo mejora la resistencia a la compresión sino también el esfuerzo, sin afectar significativamente el área de superficie del material, lo que lo hace un aditivo prometedor para la construcción en regiones rurales de Loreto.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

La presente investigación ha demostrado que la proporción de carbón molido tiene un efecto significativo en la resistencia a la compresión del adobe artesanal tanto en kilonewtons (kN) como en kilogramos (Kg). Los resultados de la ANVA indican que cualquier adición de carbón molido (0.1, 0.2, o 0.3) mejora significativamente la resistencia a la compresión del adobe en comparación con el adobe sin carbón. Específicamente, el adobe con una proporción del 20% de carbón molido mostró la mayor resistencia, soportando hasta 41.69 kN y 4250.99 Kg. Esto representa un incremento notable en la capacidad de carga y durabilidad del material, indicando que el uso de carbón molido en la elaboración del adobe artesanal puede mejorar su desempeño estructural.

En cuanto a las variables de área de superficie (cm^2) y esfuerzo (Kg/cm^2), el análisis de varianza sugiere que la proporción de carbón molido no tiene un efecto significativo sobre el área de los bloques de adobe, lo cual implica que las dimensiones del material no se ven afectadas por la adición de carbón molido. Sin embargo, el esfuerzo (Kg/cm^2), que mide la presión que el adobe puede soportar antes de fallar, sí mostró mejoras significativas con la adición de carbón molido. La prueba de Tukey indicó que cualquier proporción de carbón molido mejora notablemente el esfuerzo del adobe en comparación con el adobe sin carbón, haciendo que el material sea más fuerte y resistente.

En términos de aplicación práctica, estos resultados sugieren que la adición de carbón vegetal molido en la elaboración del adobe artesanal es una estrategia efectiva para optimizar las propiedades estructurales del material. Identificar la proporción óptima de carbón molido, como el 20%, puede maximizar la resistencia del adobe sin comprometer otras propiedades del material.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos, se recomienda emplear proporciones de carbón vegetal molido en la elaboración de adobe artesanal. Los análisis muestran que el adobe con una proporción del 20% de carbón vegetal molido soporta hasta 41.69 kN y 4250.99 Kg. Además, el esfuerzo del adobe con carbón molido alcanza valores de hasta 15.99 Kg/cm² frente a los 11.92 Kg/cm² del adobe sin carbón. Estos valores indican que el uso de carbón vegetal molido puede incrementar la durabilidad y capacidad de carga del adobe, lo que fortalece para la seguridad estructural.

En la elaboración de adobe artesanal, se recomienda la incorporación de carbón vegetal molido en mezclas con tierra, la mezcla de tierra con carbón vegetal molido no solo aumenta la resistencia del material, sino que también contribuye a la homogeneidad y consistencia de los bloques de adobe, haciendo que sean más adecuados para aplicaciones estructurales exigentes.

Es fundamental continuar investigando en la identificación y uso de materiales que puedan aportar mayor resistencia a la compresión en la elaboración de adobe artesanal, especialmente para construcciones rurales donde la durabilidad y la seguridad son prioritarias. Se sugiere explorar otros aditivos naturales y sostenibles que puedan complementar o mejorar los efectos del carbón vegetal molido.

CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- **Flores Panduro, A.K.** (2019) evaluación de niveles de cascara de arroz y su influencia sobre la resistencia a la compresión en la fabricación de adobe. Zungaro Cocha – Loreto. 2018. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos, Perú
- 2.- **Tello Treneman, D.B.** (2021). Tipo de tierra y su resistencia a la compresión del adobe con cascara de arroz en Zungarococha. Loreto, 2020. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos, Perú
- 3.- **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.
- 4.- **Weill Flores, J. J.** (2021). “variación de la resistencia a la compresión del adobe al incorporar aserrín de madera. Zungaro cocha – Loreto. 2020”. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos, Perú
- 5.- **Mantilla, Jh. C.** (2018). Variación de las propiedades físico mecánicas del adobe al incorporar viruta y caucho (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- 6.- **Zavala Ramirez, J.J., García Rodríguez, F.J., Carrillo Rodríguez, H, Navarrete Damián, J., Hernández Zaragoza, J.B., & López Lara, T.** (2015). Uso de residuos agroindustriales para la estabilización de adobes. Barcelona, España: Omnia Science. doi:10.3926/oms.241
- 7.- **Arellano, L., Cruz-Rosales, M. & Huerta, C.** (2014). El estiércol, material de desecho, de provecho y algo más. Veracruz, México: Instituto de Ecología, A. C.
8. **Benites.** “Estabilización de adobes con extracto de adobe (*furcraea andina*)” muestra que, en la ciudad de Piura, para obtener el título de ingeniero civil.
- 9.- **Rivera, J. C.** (2012). El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda
- 10.- **Cotrina, A., Limay, W., y López, D.** (2014). Comparación de la resistencia a la compresión de unidades de adobe sin paja con unidades de adobe con paja en cruz blanca- Cajamarca, 2(2), 1.
- 11.- **Calderon** (2013, Septiembre 05). Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia. Universidad Politécnica de Catalunya -

Departamento de Construcción Arquitectónica I. Máster Oficial en Tecnología de la Arquitectura - Construcción e Innovación Tecnológica. Retrieved mayo 01, 2017, from <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/1211>

- 12.- **De La Peña Estrada, D.** (1997). Adobe, Características y sus principales usos en la construcción. Ciudad De México: ICC.

ANEXOS

1. Ensayo resistencia a la compresión



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ESPECÍMENES DE ADOBE

NORMAS: E.080

TESIS : PROPORCIÓN DE CARBÓN VEGETAL MOLIDO PARA LA ELABORACIÓN DE ADOBE ARTESANAL Y SU EFECTO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ZUNGAROCOCHA 2024
 SOLICITANTE : BACHILLER NORMA ADELA PACAYA TUANAMA
 FECHA DE ENSAYO : 10 DE JULIO DEL 2024



CÓDIGO	CARBÓN VEGETAL MOLIDO %	FUERZA (KN)	FUERZA (KG)	DIMENSIONES CM		AREA CM2	ESFUERZO (KG/CM2)
T1	0	30.05	3064.25	19.0	13.0	247.00	12.41
T1	0	30.02	3061.19	19.0	13.0	247.00	12.39
T1	0	28.19	2874.58	18.8	14.0	263.20	10.92
T1	0	29.93	3048.95	18.8	14.0	263.20	11.58
T1	0	29.80	3038.75	19.0	13.0	247.00	12.30
T2	10	34.76	3544.53	20.0	14.0	280.00	12.66
T2	10	43.04	4388.86	19.0	13.5	256.50	17.11
T2	10	37.13	3786.21	19.0	14.0	266.00	14.23
T2	10	36.59	3731.14	19.0	13.5	256.50	14.55
T2	10	37.98	3872.68	19.0	13.6	258.40	14.99
T3	20	40.41	4120.67	20.0	13.8	276.00	14.93
T3	20	40.97	4177.78	19.4	14.0	271.60	15.38
T3	20	42.59	4322.58	19.4	13.2	256.08	16.88
T3	20	43.31	4416.39	20.0	13.2	264.00	16.73
T3	20	41.35	4217.55	19.5	13.5	263.25	16.02
T4	30	44.14	4501.05	21.0	13.2	277.20	16.24
T4	30	39.87	4065.61	20.0	13.5	270.00	15.06
T4	30	39.23	4000.35	19.0	13.8	262.20	15.26
T4	30	38.30	3701.57	19.0	13.8	262.20	14.12
T4	30	38.90	3966.70	18.8	13.8	259.44	15.29

OBSERVACIONES:

- Se certifica que los resultados del presente documento no debe transcribirse previa autorización escrita del laboratorio que lo realizó
- Muestras ortodricas (ladritas), provistas por el solicitante

GOBIERNO REGIONAL DE LORETO
 DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 JAIIME RAMIREZ PINEO
 Director del Laboratorio del Control de Calidad de Materiales y Pavimentos



GOBIERNO REGIONAL DE ARETO
 DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 ING. GUSTAVO RIVERA ACOSTA
 Director del Laboratorio y Control de Calidad

2. Análisis físico químico de suelos

CENTRO DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES
CIRNA



LIS-CIRNA
Laboratorio de Investigación de Suelos

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

MUESTREO : 01 Parcelas
SOLICITANTE : Norma Adela Pacaya Tuanama.
PROCEDENCIA : Puerto Almendra.

FECHA: 03/06/2024

1) ANÁLISIS FÍSICOS DEL SUELO

1.1) ANÁLISIS DE TEXTURA.

N° MUESTRA	PROCEDENCIA	TEXTURA	INTERPRETACION
Parcela-01	Fundo Almendra	Franco arcilloso	Textura Medianamente Finas

1.2) ANÁLISIS DE TEXTURA DETALLADO.

N° MUESTRA	Porcentajes (%)	TEXTURA	INTERPRETACION
	Are - Lim - arc		
Parcela-01	40.84 - 32.86 - 26.3	Franco arcilloso	Textura relativamente suelta - Fertilidad aportada por los limos


Ing. Ranylla Melendez Cabello
Coordinador LIS-CIRNA-UNAP
Laboratorio de Investigación de Suelos



COORDINADOR LIS-CIRNA

METODOLOGÍAS
ANÁLISIS FÍSICO
ANÁLISIS DE TEXTURA : POR EL HIDROMETRO DE BOUYOUCCOS

3. Datos originales de la tesis

PROPORCIÓN DE CARBÓN	FUERZA (kN)	FUERZA(Kg)	ÁREA (cm ²)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
Sin carbón	30.05	3064.25	247.00	12.41
Sin carbón	30.02	3061.19	247.00	12.39
Sin carbón	28.19	2874.58	263.20	10.92
Sin carbón	29.90	3048.95	263.20	11.58
0.1 carbón	29.80	3038.75	247.00	12.30
0.1 carbón	34.76	3544.53	280.00	12.66
0.1 carbón	43.04	4388.86	256.50	17.11
0.1 carbón	37.13	3786.21	266.00	14.23
0.1 carbón	36.59	3731.14	256.50	14.55
0.2 carbón	37.98	3872.88	258.40	14.99
0.2 carbón	40.41	4120.67	276.00	14.93
0.2 carbón	40.97	4177.78	271.60	15.38
0.2 carbón	42.39	4322.58	256.08	16.88
0.2 carbón	43.31	4416.39	264.00	16.73
0.3 carbón	41.36	4217.55	263.25	16.02
0.3 carbón	44.14	4501.03	277.20	16.24
0.3 carbón	39.87	4065.61	270.00	15.06
0.3 carbón	39.23	4000.35	262.20	15.26
0.3 carbón	36.30	3701.57	262.20	14.12
0.3 carbón	38.90	3966.70	259.44	15.29
Shapiro-Wilks	> 0.01	> 0.01	> 0.01	> 0.01
Levine	> 0.01	> 0.01	> 0.01	> 0.01

Peso del adobe en kilogramos

T1 TESTIGO – SIN CARBÓN VEGETAL

	1	2	3	4	5
8 - 06-2024	4.80	4.6	4.5	4.4	4.8
12 -06-2024	4.6	4.5	4.4	4.3	4.6
16- 06-2024	4.5	4.4	4.2	4.3	4.5
20-06-2024	4.3	4.3	4.1	4.2	4.3
24-06-2024	4.0	4.0	3.8	3.8	4.0
28-06-2024	3.9	3.4	3.7	3.7	3.9
2-07-2024	3.8	3.7	3.5	3.5	3.7
6-07-2024	3.6	3.5	3.5	3.4	3.6
PERDIDA PESO	1.2	1.1	1.0	1.0	1.2

T2 CON 10 % DE CARBON VEGETAL

	1	2	3	4	5
8 - 06-2024	5.0	4.4	4.4	5.0	4.1
12 -06-2024	4.8	4.3	4.3	4.8	4.2
16- 06-2024	4.6	4.2	4.2	4.7	4.1
20-06-2024	4.5	4.1	4.1	4.5	3.9
24-06-2024	4.2	3.7	3.7	4.2	3.6
28-06-2024	4.0	3.6	3.4	4.0	3.4
2-07-2024	3.9	3.4	3.4	3.9	3.4
6-07-2024	3.7	3.3	3.3	3.8	3.2
PREDIDA PESO	1.3	1.1	1.1	1.2	0.9

T3 CON 20% DE CARBON VEGETAL

	1	2	3	4	5
8 - 06-2024	4.8	4.4	4.4	4.8	4.7
12 -06-2024	4.7	4.2	4.4	4.6	4.5
16- 06-2024	4.6	4.1	4.3	4.5	4.4
20-06-2024	4.3	3.9	4.2	4.4	4.3
24-06-2024	3.9	3.6	3.8	4.4	3.9
28-06-2024	3.7	3.4	3.6	3.6	3.7
2-07-2024	3.6	3.3	3.4	3.6	3.6
6-07-2024	3.6	3.2	3.4	3.5	3.5
PERDIDA PESO	1.2	1.2	1.0	1.3	1.2

T4 CON 30% DE CARBON VEGETAL

	1	2	3	4	5
8 - 06-2024	5.0	4.7	4.4	4.5	4.2
12 -06-2024	4.8	4.6	4.2	4.4	4.0
16- 06-2024	4.7	4.5	4.1	4.3	3.9
20-06-2024	4.5	4.3	4.0	4.2	3.7
24-06-2024	4.0	3.9	3.6	3.6	3.3
28-06-2024	3.8	3.7	3.4	3.3	3.2
2-07-2024	3.7	3.6	3.3	3.2	3.1
6-07-2024	3.6	3.5	3.2	3.1	3.0
PERDIDA PESO	1.4	1.2	1.2	1.4	1.2

4. Galería de fotos







