



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Evaluación de propiedades físico mecánicas en ladrillos  
ecológicos con adición de cenizas de capulí, Cajamarca - 2023**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Civil

**AUTORES:**

Cóndor Huaman, Maximiliano ([orcid.org/0000-0002-3545-8439](https://orcid.org/0000-0002-3545-8439))

Quiroz Cabanillas, Dante Alex ([orcid.org/0009-0008-4139-3951](https://orcid.org/0009-0008-4139-3951))

**ASESOR:**

Dr. Arévalo Vidal, Samir Augusto ([orcid.org/0000-0002-6559-0334](https://orcid.org/0000-0002-6559-0334))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño Sísmico y Estructural

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA**

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

CHICLAYO – PERÚ

2024

## **Dedicatoria**

Esta tesis se dedica a mi maravillosa familia, cuyo apoyo incondicional y buenos deseos han sido pilares en mi camino. Su constante presencia y aliento han sido esenciales para lograr las metas y objetivos planteados.

Dedico esta obra a mis amigos cercanos, quienes han sido mi sostén emocional y mi fuente constante de alegría y motivación a lo largo de esta extraordinaria travesía.

## **Agradecimiento**

A la Universidad César Vallejo, por ser el escenario de este logro y brindarme un espacio para crecer académicamente. Y, por supuesto, a mi familia y amigos, por ser la constante fuente de inspiración y fortaleza que necesitaba para llegar a este punto.

A mis amados padres, que me han brindado amor, comprensión, respaldo, orientación y confort en cada etapa, tanto en los momentos maravillosos como en los más difíciles, les estoy eternamente agradecido.

Mi más profundo reconocimiento a cada individuo que ha sido parte esencial en la culminación de esta tesis. Cada línea escrita es el reflejo del apoyo, aliento e inspiración recibidos de familiares, amigos, maestros y mentores.

Mi sincera gratitud a colegas y amigos por su solidaridad, apoyo y palabras motivadoras, que hicieron que esta travesía académica fuera menos ardua y mucho más enriquecedora.



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, AREVALO VIDAL SAMIR AUGUSTO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Evaluación de propiedades físico mecánicas en ladrillos ecológicos con adición de cenizas de capulí, Cajamarca - 2023", cuyos autores son CONDOR HUAMAN MAXIMILIANO, QUIROZ CABANILLAS DANTE ALEX, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 18 de Marzo del 2024

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL DNI: 46000342 ORCID: 0000-0002-6559-0334	Firmado electrónicamente por: SAAREVALOV el 18- 03-2024 21:28:49

Código documento Trilce: TRI - 0740641



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

### **Declaratoria de Originalidad de los Autores**

Nosotros, CONDOR HUAMAN MAXIMILIANO, QUIROZ CABANILLAS DANTE ALEX estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Evaluación de propiedades físico mecánicas en ladrillos ecológicos con adición de cenizas de capulí, Cajamarca - 2023", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
DANTE ALEX QUIROZ CABANILLAS DNI: 46610135 ORCID: 0009-0008-4139-3951	Firmado electrónicamente por: DQUIROZCA el 18-03- 2024 21:56:27
MAXIMILIANO CONDOR HUAMAN DNI: 27575150 ORCID: 0009-0006-5750-3938	Firmado electrónicamente por: CONDOR el 18-03- 2024 21:52:12

Código documento Trilce: TRI - 0740642

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Declaración de Autenticidad del Asesor.....	iv
Declaratoria de Originalidad de los Autores.....	v
Índice de contenidos.....	vi
Índice de tablas.....	vii
Índice de gráficos y figuras.....	ix
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	7
III. METODOLOGÍA.....	19
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	19
3.2. Variables y operacionalización.....	20
3.3. Población, muestra y muestreo.....	20
3.4. Las técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	22
3.5. Procedimientos.....	24
3.6. Método de análisis de datos.....	25
3.7. Aspectos éticos.....	26
IV. RESULTADOS.....	27
V. DISCUSIÓN.....	67
VI. CONCLUSIONES.....	76
VII. RECOMENDACIONES.....	79
REFERENCIAS.....	80
ANEXOS.....	85

## Índice de tablas

Tabla 1. Cantidad de ladrillos para ensayos físico-mecánicos .....	21
Tabla 2. Resultados del ensayo variación dimensional de ladrillos ecológicos muestra patrón 0% 27	
Tabla 3. Resultados del ensayo variación dimensional de ladrillos ecológicos con 5% de adición de ceniza de capulí.....	28
Tabla 4. Resultados del ensayo variación dimensional de ladrillos ecológicos con 10% de adición de ceniza de capulí .....	28
Tabla 5. Resultados del ensayo variación dimensional de ladrillos ecológicos con 15% de adición de ceniza de capulí .....	29
Tabla 6. Clasificación de ladrillos ecológicos según norma técnica peruana E.70.....	29
Tabla 7. Resultados del ensayo de alabeo de ladrillos ecológicos con 0% de cenizas de capulí ...	30
Tabla 8. Resultados del ensayo de alabeo de ladrillos ecológicos con 5% de adición de ceniza de capulí .....	31
Tabla 9. Resultados del ensayo de alabeo de ladrillos ecológicos con 10% de adición de ceniza de capulí.....	31
Tabla 10. Resultados del ensayo de alabeo de ladrillos ecológicos con 15% de adición de ceniza de capulí.....	32
Tabla 11. Clasificación de los ladrillos ecológicos según la norma técnica peruana E.070 .....	33
Tabla 12. Resultados del ensayo de absorción de ladrillos ecológicos con 0% de adición de ceniza de capulí. ....	34
Tabla 13. Resultados del ensayo de absorción de ladrillos ecológicos con 5% de adición de ceniza de capulí. ....	35
Tabla 14. Resultados del ensayo de absorción de ladrillos ecológicos con 10% de adición de ceniza de capulí.....	36
Tabla 15. Resultados del ensayo de absorción de ladrillos ecológicos con 15% de adición de ceniza de capulí.....	36
Tabla 16. Clasificación de los ladrillos ecológicos según la norma técnica peruana E.070 .....	37
Tabla 17. Resultados del ensayo de resistencia a la comprensión por unidad de ladrillos ecológicos con 0% de adición de ceniza de capulí .....	37
Tabla 18. Resultados del ensayo de resistencia a la comprensión por unidad de ladrillos ecológicos con 5% de adición de ceniza de capulí .....	38
Tabla 19. Resultados del ensayo de resistencia a la comprensión por unidad de ladrillos ecológicos con 10% de adición de ceniza de capulí.....	39
Tabla 20. Resultados del ensayo de resistencia a la comprensión por unidad de ladrillos ecológicos con 15% de adición de ceniza de capulí. ....	39
Tabla 21. Clasificación de los ladrillos ecológicos según la norma técnica peruana E.070 .....	40
Tabla 22. Resultados del ensayo de resistencia a la comprensión axial de ladrillos ecológicos con 0%.de adición de ceniza de capulí.....	41

Tabla 23. Resultados del ensayo de resistencia a la comprensión axial de ladrillos ecológicos con 5%.de adición de ceniza de capulí .....	42
Tabla 24. Resultados del ensayo de resistencia a la comprensión axial de ladrillos ecológicos con 10%.de adición de ceniza de capulí .....	43
Tabla 25. Resultados del ensayo de resistencia a la comprensión axial de ladrillos ecológicos con 15%.de adición de ceniza de capulí .....	44
Tabla 27. Clasificación de los ladrillos ecológicos según la norma técnica peruana E.070 .....	44
Tabla 28. Evaluación de la distribución normal en el análisis de variabilidad dimensional en la dimensión de “Largo” con incorporación de cenizas de capulí .....	46
Tabla 29. Prueba T de Student del ensayo de variación dimensional para la dimensión "Largo" de ladrillos ecológicos con adiciones de ceniza de capulí .....	47
Tabla 30. Evaluación de la distribución normal en el análisis de variabilidad dimensional en la dimensión de “Ancho” con incorporación de cenizas de capulí .....	49
Tabla 31. Prueba T de Student del ensayo de variación dimensional para la dimensión "Ancho" de ladrillos ecológicos con adiciones de ceniza de capulí .....	50
Tabla 32. Evaluación de la distribución normal en el análisis de variabilidad dimensional en la dimensión de “Alto” con incorporación de cenizas de capulí.....	52
Tabla 33. Prueba T de Student del ensayo de variación dimensional para la dimensión "Alto" de ladrillos ecológicos con adiciones de ceniza de capulí .....	53
Tabla 34. Evaluación de la distribución normal en los resultados del ensayo de alabeo con incorporación de cenizas de capulí .....	55
Tabla 35. Prueba T de Student del ensayo de alabeo de ladrillos ecológicos con adiciones de ceniza de capulí.....	56
Tabla 36. Evaluación de la distribución normal en los resultados del ensayo de absorción con incorporación de cenizas de capulí .....	57
Tabla 37. Prueba T de Student del ensayo de absorción de ladrillos ecológicos con adiciones de ceniza de capulí.....	59
Tabla 38. Evaluación de la distribución normal en los resultados del ensayo de resistencia a la comprensión con incorporación de cenizas de capulí .....	60
Tabla 39. Prueba T de Student del ensayo de resistencia a la comprensión de ladrillos ecológicos con adiciones de ceniza de capulí.....	61
Tabla 40. Evaluación de la distribución normal en los resultados del ensayo de resistencia a la comprensión de prismas con incorporación de cenizas de capulí .....	63
Tabla 41. Prueba T de Student del ensayo de resistencia a la comprensión de prismas de ladrillos ecológicos con adiciones de ceniza de capulí .....	64



## Índice de gráficos y figuras

Figura 1. Resultados del ensayo de variación dimensional de ladrillos ecológicos con 0%, 5%, 10% y 15% de cenizas de capulí.....	30
Figura 2. Resultados del ensayo de alabeo de unidades con 0%, 5%, 10% y 15% de cenizas de capulí .....	34
Figura 3. Resultados del ensayo de absorción de unidades con 0%, 5%, 10% y 15% de cenizas de capulí .....	37
Figura 4. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de unidades con 0%, 5%, 10%, 15% de cenizas de capulí.....	40
Figura 5. Resultados de los ensayos de compresión axial de unidades con 0%, 5%, 10%, 15% .	45
Figura 6. Variación dimensional en lago, ancho y alto con adición de cascara de café .....	67
Figura 7. Variación dimensional en lago, ancho y alto con adición de cenizas de capulí .....	68
Figura 8. Alabeo de ladrillos con adición de cenizas de bagazo de caña de azúcar .....	69
Figura 9. Alabeo de ladrillos con adición de cenizas de capulí .....	69
Figura 10. Porcentaje de absorción con cenizas de totora .....	70
Figura 11. Porcentaje de absorción con cenizas de capulí .....	71
Figura 12. Resistencia a la compresión por unidad al adicionar aserrín de pino.....	72
Figura 13. Resistencia a la compresión por unidad al adicionar cenizas de capulí .....	73
Figura 14. Resistencia a la compresión en pilas al adicionar cenizas de fondo .....	74
Figura 15. Resistencia a la compresión en pilas al adicionar cenizas de capulí .....	74

## Resumen

El propósito de esta investigación fue evaluar la influencia de la adición de ceniza de capulí en las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos ecológicos, la investigación se desarrolló en el marco de un enfoque cuantitativo, utilizando una metodología aplicada y un diseño experimental, la investigación incluyó un total de 92 ladrillos en su muestra. Los resultados en la prueba de variación dimensional, con la dosis más adecuada de ceniza de capulí al 10%, fueron un largo de 3.10%, ancho de 4.30% y un alto de 0.40%; En la prueba de alabeo con la dosificación de 10% ceniza de capulí presenta una concavidad de 0.84mm y una convexidad de 0.88mm; En cuanto a la prueba de absorción con la dosis más adecuada de 15% presenta una absorción de 21,92%; En cuanto a la resistencia a la compresión de las unidades en una dosis del 15% de cenizas de capulí, tiene una resistencia de 55.59kg/cm<sup>2</sup>; En cuanto a la resistencia a la compresión de prismas en una dosis del 15% de cenizas de capulí, tiene una resistencia de 40,82 kg/cm<sup>2</sup>; La investigación concluye que el ladrillo ecológico, gracias a la inclusión de ceniza de capulí, cumple con la normativa técnica vigente, demostrando ser un material de construcción confiable. Este avance en sus propiedades físicas y mecánicas pone de relieve la eficacia del uso de ceniza para mejorar la calidad de los ladrillos ecológicos y subraya la relevancia de buscar opciones sostenibles en el sector de la construcción. La adopción de materiales reciclados o subproductos como las cenizas no sólo promueve la sostenibilidad ambiental, sino que también mejora las cualidades y el rendimiento del producto terminado. Este descubrimiento no sólo es innovador, sino que también promueve la construcción de obras más verdes y comprometidas con el cuidado del medio ambiente.

Palabras clave: Ladrillos ecológicos, propiedades físicas, propiedades mecánicas cenizas de capulí.

## Abstract

The purpose of this research was to evaluate the influence of the addition of capulí ash on the physical and mechanical properties of ecological bricks, the research was developed within the framework of a quantitative approach, using an applied methodology and an experimental design, the research included a total of 92 bricks in your sample. The results in the dimensional variation test, with the most appropriate dose of 10% capulí ash, were a length of 3.10%, width of 4.30% and a height of 0.40%; In the warping test with the dosage of 10% capulí ash, it presents a concavity of 0.84mm and a convexity of 0.88mm; Regarding the absorption test with the most appropriate dose of 15%, it presents an absorption of 21.92%; Regarding the compressive strength of the units at a dose of 15% of capulí ash, it has a resistance of 55.59kg/cm<sup>2</sup>; Regarding the compressive strength of prisms in a dose of 15% of capulí ashes, it has a resistance of 40.82 kg/cm<sup>2</sup>; The research concludes that the ecological brick, thanks to the inclusion of capulí ash, complies with current technical regulations, proving to be a reliable construction material. This advance in its physical and mechanical properties highlights the effectiveness of using ash to improve the quality of ecological bricks and underlines the relevance of seeking sustainable options in the construction sector. Adopting recycled materials or by-products such as ash not only promotes environmental sustainability, but also improves the qualities and performance of the finished product. This discovery is not only innovative, but also promotes the construction of greener works committed to caring for the environment.

Keywords: Ecological bricks, physical properties, mechanical properties of capulí ashes.

## I. INTRODUCCIÓN

**A nivel internacional**, el ladrillo es un material tradicional y ampliamente adoptado a nivel mundial, siendo especialmente significativo en **Chile** donde su empleo se considera un reflejo de la identidad y cultura local. A pesar de que las técnicas de producción y las dimensiones de este elemento constructivo han evolucionado con el tiempo, su composición básica y su característica forma rectangular han permanecido casi inalteradas. El procedimiento de fabricación del ladrillo inicia con la arcilla, la cual se combina con agua, se forma y se extruye; posteriormente, se somete a secado y cocción. Entre sus numerosas ventajas se encuentran su larga vida útil, su capacidad de aislamiento térmico y sonoro, su sostenibilidad y su resistencia al fuego. Hoy en día, la producción de ladrillos ha mejorado significativamente en cuanto a calidad, resistencia estructural y durabilidad, resultando en productos que exceden las expectativas de las normativas vigentes (Montjoy, 2022). En **Colombia**, el auge del sector de la construcción impulsa la demanda de ladrillos, enfrentando, no obstante, desafíos ambientales, sociales y económicos. Los ladrillos ecológicos emergen como una solución viable a estos problemas. Con el objetivo de confirmar su rendimiento, se han realizado evaluaciones tanto en laboratorios como in situ para examinar sus propiedades físicas y mecánicas, garantizando su conformidad con los criterios normativos. La fabricación de estos ladrillos ecológicos ha probado satisfacer los requisitos de resistencia dictados por las normas, brindando además la ventaja de disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>, debido a que su proceso productivo omite la cocción. Este avance representa un paso significativo hacia la resolución de problemas ambientales, económicos y sociales (López, 2020). En **Bolivia**, la producción de cemento contribuye de manera importante a la degradación ambiental y a la exposición de los trabajadores a riesgos para su salud, mediante la emisión de contaminantes y el contacto con polvo de sílice, lo cual puede derivar en enfermedades como la silicosis. Ante esta situación, se plantea una inclinación hacia el uso de "hormigón verde", que implica minimizar el consumo de cemento y buscar su reemplazo parcial con alternativas como cenizas y escoria. La incorporación de cenizas en los ladrillos proporciona ventajas, como la mejora en resistencia a

la compresión, una mayor longevidad y una mejora en la resistencia general. Estos ladrillos ecológicos representan una solución para avanzar hacia construcciones más sostenibles y mejorar la calidad de las edificaciones (Gareca et al. 2020).

**A nivel nacional**, en naciones en vías de desarrollo, la falta de viviendas asequibles y materiales de construcción representa un desafío social importante con el ladrillo destacándose como un material ampliamente utilizado pro con un elevado impacto ambiental en estas situaciones. Actualmente, la producción de ladrillos de arcilla cocida no solo repercute negativamente en el medio ambiente, sino que también presenta características como conductividad térmica y absorción de agua. Desde tiempos antiguos, los ladrillos han jugado un papel esencial en la construcción, aportando beneficios en el aislamiento térmico y sonoro de los edificios. Sin embargo, su producción tradicional demanda una cantidad significativa de energía y además influye en el cambio climático y la salud respiratoria, a causa de la liberación de gases que potencian el efecto invernadero. La industria de la construcción contribuye al daño ambiental debido a su consumo elevado de materias primas y energía. En promedio, se utiliza alrededor de 2 kWh de energía por ladrillo producido, generando significativas emisiones de CO<sub>2</sub> y otros impactos ambientales adversos. Dada la creciente urbanización y los desafíos en la gestión de residuos, han surgido oportunidades para reutilizar estos desechos en la construcción. La tendencia hacia una economía más sostenible e industrializada ha fomentado el incremento en la reutilización de residuos de producción, particularmente por la especialización en diversos sectores industriales. Un ejemplo de esto es el uso de cenizas de madera para reemplazar parcialmente la arcilla y otros agregados, facilitando la creación de ecoladrillos y mitigando así la contaminación ambiental resultante de estos residuos (Muñoz et al. 2021).

En el **contexto local**, la creciente demanda por alojamiento debido a la expansión poblacional y urbana ha impulsado la búsqueda de alternativas de construcción más accesibles económicamente. Este fenómeno ha resultado en un aumento en el uso de ladrillos convencionales, sean estos de arcilla o concreto. De acuerdo con cifras del Instituto Nacional de Estadística e

Informática (INEI) provenientes del censo nacional de 2017, la gran mayoría de casas en el país se construyen utilizando las unidades de mampostería de arcilla o bloques de cemento. En particular, en Cajamarca, el notable crecimiento poblacional ha intensificado la demanda de viviendas, recurriendo mayormente al uso de ladrillos de arcilla para la construcción, a pesar de la creciente utilización de ladrillos de concreto vibrado (Morillos, 2021). Sin embargo, en el proceso de producción de ladrillos de arcilla se han detectado múltiples fallos, incluyendo la falta de un proceso de control de calidad efectivo, la presencia de unidades de albañilería quebrados, y la emergencia de fisuras y deformaciones, lo que resulta en una baja capacidad de carga y potenciales daños estructurales. Paralelamente, el crecimiento demográfico y el avance de la industrialización están generando un aumento en la producción de residuos de madera. A medida que este desafío se intensifica con el tiempo, se busca activamente cómo aprovechar estos materiales de desecho de forma deliberada para aliviar la dificultad de desechar grandes volúmenes de tales residuos. Emplear estos desechos en la creación de materiales para la construcción se presenta como una vía eficaz para minimizar su acumulación. Frente a estos desafíos, existe un creciente interés en mejorar y renovar las propiedades estructurales de los ladrillos hechos a mano a través del uso de cenizas de capulí, proponiendo una alternativa estructural tanto viable como económica. La adición de cenizas de capulí a la mezcla de ladrillos marca un avance hacia prácticas constructivas más verdes y sostenibles, mejorando simultáneamente las características del material. Sin embargo, es esencial abordar los desafíos técnicos y cumplir con las normativas pertinentes para maximizar estos beneficios y asegurar la viabilidad a largo plazo de esta solución.

A partir de lo escrito en párrafos anteriores, se plantea el siguiente **problema general**: ¿De qué manera la incorporación de cenizas de Capulí afecta las propiedades físico-mecánicas en ladrillos ecológicos en Cajamarca durante el año 2022? Asimismo, se definen los **problemas específicos**: ¿De qué forma la inclusión de cenizas de Capulí modifica las propiedades físicas en ladrillos ecológicos en Cajamarca, 2022?; ¿Cuál es el efecto de añadir cenizas de Capulí sobre las propiedades mecánicas en ladrillos ecológicos en

Cajamarca, 2022?; y ¿Cómo afecta la dosificación de cenizas de Capulí en las características físico-mecánicas en ladrillos ecológicos en Cajamarca, 2022?

Se posee la **justificación teórica** arraigada en una creciente inquietud por la sostenibilidad ambiental y la adecuada administración de desechos industriales, ha catalizado la exploración de soluciones ecoeficientes dentro del sector constructivo. Dentro de este espectro de alternativas, la incorporación de residuos de ceniza como componente esencial en el proceso productivo de unidades de mampostería destaca como una estrategia viable para la valorización de subproductos industriales. Esta práctica promete mitigar significativamente el impacto ecológico vinculado tanto a la eliminación de residuos como a la explotación de recursos naturales. Las cenizas de madera, producto de la combustión de biomasa, poseen propiedades químicas y físicas que pueden mejorar las características de los ladrillos, tales como la porosidad, la resistencia mecánica y la durabilidad. Estudios previos han indicado que la sílice y los óxidos de calcio presentes en las cenizas pueden actuar como un agente aglomerante natural al mezclarse con arcillas, lo que sugiere un potencial significativo para mejorar la calidad de los ladrillos con un menor impacto ambiental. Esta indagación se basa en el estudio realizado por (Eliche *et al*, 2017) quien afirma que la cantidad recomendada de adición cenizas es del 20% aumentando la absorción del agua y la resistencia mecánica de esa manera cumple con la normatividad y puedan emplearse en la construcción. En el estudio propuesto la dosificación más recomendada es del 15% de adición de ceniza de capulí con el propósito de potenciar las características físicas y mecánicas del ladrillo asegurando así la conformidad con las regulaciones normativas peruanas actualmente en vigor. **La justificación metodológica** de este estudio se fundamenta en el uso de técnicas de recolección de datos que combinan la observación directa en entornos de laboratorio controlados y la organización sistemática de los datos recopilados en registros diseñados para su análisis por especialistas. Esta metodología permite una evaluación detallada de las características físicas y mecánicas de los ladrillos, como su resistencia a la compresión y su capacidad para absorber agua, a través de experimentación dirigida. Estas técnicas son fundamentales para establecer la aplicabilidad de ladrillos enriquecidos con cenizas de capulí en contextos

constructivos. La selección de dichos ensayos se sustenta en su reconocimiento generalizado dentro del ámbito de la ingeniería de materiales, así como en su eficacia para generar datos comparables frente a los estándares industriales y las especificaciones técnicas vigentes. La **justificación técnica** de este estudio se orienta hacia la obtención de resultados que aportarán conocimientos inéditos a la comunidad científica sobre la incorporación de cenizas en la fabricación de ladrillos ecológicos. Este análisis no se limitará a detallar los atributos físicos y mecánicos del material agregado, sino que también profundizará en las especificidades de las cenizas de Capulí y en los efectos derivados de su uso como refuerzo en la composición del ladrillo. La investigación y desarrollo de ladrillos de arcilla con cenizas de madera de capulí fomentan la innovación en materiales de construcción. Desde una perspectiva técnica, explorar nuevas composiciones de materiales y procesos de fabricación contribuye al avance del conocimiento en el campo, ofreciendo alternativas más sustentables que pueden ser adaptadas y optimizadas para diversas aplicaciones en la construcción. Esta investigación tiene una **justificación social**, la creación de ladrillos ecológicos de alta calidad a través de la adición de cenizas de Capulí tiene una relevante justificación social, al contribuir a la disminución de la contaminación ambiental y beneficiar a la población local. Este proceso no solo aporta información valiosa para la comunidad científica sobre el uso de cenizas en la producción de ladrillos, sino que también establece un precedente para investigaciones futuras en el área. La elaboración de ladrillos más ecológicos y asequibles puede mejorar significativamente la disponibilidad de viviendas de calidad para comunidades de ingresos bajos y medios, impulsando la resiliencia comunitaria al facilitar el acceso a infraestructuras seguras y respetuosas con el medio ambiente. La **justificación económica** de esta indagación radica en el uso de cenizas, con costos asociados principalmente a la mano de obra para la recolección de madera, buscando posicionar esta madera como una opción competitiva en el mercado. Además, el aprovechamiento de cenizas presenta ventajas tanto sociales como ambientales. La fabricación de ladrillos incorporando cenizas de madera promete impulsar el crecimiento económico en el ámbito local, incrementando la demanda de cenizas como recurso de construcción, lo cual



podría dinamizar la economía regional a través del fomento de recursos locales y la creación de empleos en la fabricación y comercialización de estos nuevos materiales. **Justificación ecológica**, La utilización de cenizas de madera de capulí en la fabricación de ladrillos de arcilla representa una propuesta innovadora que combina la gestión de residuos orgánicos con el desarrollo de materiales de construcción sostenible. La disponibilidad de materiales de construcción sostenibles, como los ladrillos con cenizas de madera, permite a los ingenieros civiles optar por opciones más ecológicas, contribuyendo así a la construcción de edificaciones más sostenibles y a la promoción de prácticas de construcción que respeten el medio ambiente. Según Iza (2019) La edificación sostenible se orienta a satisfacer las necesidades de infraestructura y vivienda actuales sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para atender sus propios requerimientos. Esto se alcanza adhiriéndose a tres pilares esenciales: la reducción en el consumo de recursos, la protección del medio ambiente y la garantía de que lo edificado posea longevidad y facilidad de mantenimiento.

El **objetivo general** es: Evaluar el efecto de incorporar cenizas de Capulí en las propiedades físico-mecánicas de ladrillos ecológicos en Cajamarca, 2023. Los **objetivos específicos** incluyen: Determinar cómo la inclusión de cenizas de Capulí afecta las propiedades físicas de los ladrillos ecológicos en Cajamarca, 2023. Evaluar el impacto de la adición de cenizas de Capulí en las propiedades mecánicas de los ladrillos ecológicos, Cajamarca, 2023. Determinar el efecto de la dosificación de cenizas de Capulí en las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos, Cajamarca, 2023.

**Hipótesis general**: La incorporación de cenizas de Capulí mejora significativamente las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos, Cajamarca, 2023. **Hipótesis específicas** son: La inclusión de cenizas de Capulí afecta positivamente las propiedades físicas de los ladrillos ecológicos, Cajamarca, 2023. La inclusión de cenizas de Capulí tiene un efecto beneficioso en las propiedades mecánicas de los ladrillos ecológicos, Cajamarca, 2023. La dosificación en la que se añaden las cenizas de Capulí influye en las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos, Cajamarca, 2023.

## II. MARCO TEÓRICO

Para realizar este trabajo investigativo, se exploraron diversas investigaciones que se efectuaron en años anteriores relacionados con este estudio. En el contexto **internacional**, tenemos a:

Aguilar (2019) examinó el impacto de la utilización de cenizas de carbón en lugar de arcilla en la producción de ladrillos. Se utilizó un método cuantitativo y un diseño experimental con 120 muestras para desarrollar la investigación. Se descubrió que añadir cenizas de carbón en cantidades del 5%, 10% y 15% mejora significativamente las propiedades de los ladrillos, especialmente en términos de su resistencia a la compresión y su capacidad de absorción de agua. Se destacó que los ladrillos con un 10% de ceniza demostraron un balance excepcional, aumentando su resistencia y absorción de agua en un 17,13%. El estudio encontró que agregar ceniza de carbón mejora la producción de ladrillos ecológicos.

Bravo y Espinoza (2019) realizaron un estudio para crear un bloque de construcción más ecológico combinando bagazo de caña, tierra y cemento con el objetivo de aumentar la sostenibilidad en la construcción. A través de un método cuantitativo y un diseño experimental con 20 muestras, se descubrió que reemplazar el 20% del cemento por cenizas mejoraba significativamente la resistencia a la compresión de los bloques. Después de 28 días, la resistencia a la compresión alcanzó 9,48 MPa, lo que cumplía con los estándares requeridos. Las cenizas y la hidratación del cemento mejoran la cohesión de la mezcla y reducen la porosidad, lo que hace que los bloques sean más resistentes y sostenibles. Se determinó que el mampuesto producido cumplía con las características necesarias para dicho material.

Mena y Villamarin (2019) llevaron a cabo un estudio centrado en la supervisión de la calidad de ladrillos ecológicos, con el propósito específico de evaluar tres propiedades mecánicas clave y la capacidad de absorción de agua de estos materiales. Utilizando una aproximación cuantitativa y un diseño experimental, se analizaron 15 muestras individuales. Los hallazgos revelaron que la mezcla con base en Cangahua demostró ser eficaz, exhibiendo una resistencia a la compresión de 9,74 MPa y una tasa de absorción de humedad

del 22%, con una composición de 66% de Cangahua, 18% de cemento y 16% de agua. Según la normativa, cumple los requisitos de parámetros para ladrillos ecológicos. Se concluyó que el proceso desarrollado se basa en su experiencia y en la gestión del proceso, verificando que el ladrillo elaborado en base a Cangahua tiene mayor factibilidad a ser utilizado en el área de la construcción y posee mejor calidad del producto, obteniendo así un reconocimiento de la calidad de ladrillo que se fabrica.

En el contexto **nacional** se tiene a Sandoval (2021) realizó un estudio nacional para investigar cómo la adición de ceniza de cáscara de café afecta la resistencia a la compresión axial de los ladrillos de hormigón estructural. Se analizaron veinte muestras de ladrillo utilizando un enfoque cuantitativo y un diseño experimental. El método principal para la recolección de datos fue la observación, respaldada por una guía especialmente creada para este propósito. Los hallazgos demostraron que los ladrillos convencionales tenían una resistencia de 167 Kg/cm<sup>2</sup>, pero los ladrillos con ceniza del 5% alcanzaron 173 Kg/cm<sup>2</sup>, los de 10% alcanzaron 178 Kg/cm<sup>2</sup> y los de 15% disminuyeron a 163 Kg/cm<sup>2</sup>. La investigación llegó a la conclusión de que la ceniza de cáscara de café puede ser utilizada en la producción de ladrillos de hormigón hasta un máximo del 10% del peso del cemento, mejorando de esta manera su resistencia mecánica y propiedades físicas.

Bendezú (2019) llevó a cabo un estudio para determinar el impacto de incorporar cenizas de bagazo de caña de azúcar en la fabricación de ladrillos ecológicos en Puente Piedra, Lima. Utilizando un enfoque cuantitativo y un diseño experimental, se analizaron 100 ladrillos ecológicos enriquecidos con ceniza. Los resultados revelaron que agregar un 10% de ceniza mejoraba moderadamente las características mecánicas, especialmente la resistencia a la compresión. Por otro lado, un 15% de ceniza aumentaba notablemente la capacidad de absorción de agua de los ladrillos. Las mezclas con 5%, 10% y 15% de ceniza también satisfacían los requisitos de alabeo. Por tanto, la investigación estableció que la adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar mejora las propiedades de los ladrillos ecológicos y ayuda a alcanzar las normativas y estándares aplicables.

Vilca (2021) realizó un estudio para explorar el efecto de añadir cenizas de totora en las características estructurales de muros de albañilería confinada hechos con ladrillos artesanales. Adoptando una metodología de investigación aplicada y un diseño experimental dentro de un marco cuantitativo, se examinaron 440 ladrillos manuales, de los cuales 428 fueron seleccionados para el análisis. Los resultados mostraron que una inclusión del 5% de cenizas incrementaba la resistencia a la compresión a 56.50 kg/cm<sup>2</sup>, y con un 10%, la resistencia se elevaba a 60.03 kg/cm<sup>2</sup>. No obstante, al aumentar la proporción al 15%, la resistencia disminuía a 46.03 kg/cm<sup>2</sup>. Por lo tanto, Vilca concluyó que integrar hasta un 10% de ceniza de totora en la fabricación de ladrillos artesanales optimiza notablemente su resistencia a la compresión, mientras que una cantidad mayor a este porcentaje, como el 15%, tiene un efecto adverso en la misma.

Mamani (2022) exploró cómo la adición de residuos de papel de cemento al proceso de fabricación afecta la calidad de ladrillos destinados a muros de albañilería confinada, aprovechando este material reciclado. A través de un enfoque cuantitativo, utilizando una metodología experimental aplicada, se analizaron 332 ladrillos. Los resultados demostraron cambios en la absorción de agua y la resistencia a la compresión de los ladrillos, con porcentajes de inclusión de residuos de 0%, 1%, 3% y 5%, mostrando tasas de absorción de 25.82%, 19.98%, 14.97%, y 20.45% y resistencias a la compresión de 55.10, 62.09, 67.39, y 64.27 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, además de resistencias axiales en pilas de 31.54, 38.52, 43.52, y 40.35 kg/cm<sup>2</sup>. La investigación determinó que el uso de residuos de papel de cemento en estas proporciones mejora significativamente las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos, alineándose con los estándares normativos vigentes.

Huayanay y Sevillano (2022) investigaron el efecto de agregar paja de ichu y ceniza de paja de cebada sobre las propiedades físicas y mecánicas de las paredes de ladrillo. Se evaluaron 25 ladrillos mediante metodología cuantitativa y diseño experimental, y se ajustaron las proporciones de sus aditivos al 0%, 4%, 8% y 12%. Los resultados mostraron cambios en la absorción de agua y la resistencia a la compresión y una integración significativamente mejorada de estos materiales. Se encontró que el uso de

paja de ichu y ceniza de paja de cebada en cierta proporción mejora las propiedades de los ladrillos según la normativa vigente.

Andia y Sayritupac (2022) realizaron un estudio para determinar el efecto de la adición de ceniza de algodón y hojas de dátil sobre las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos hechos a mano. Mediante un diseño experimental y un enfoque metodológico cuantitativo, se estudiaron 392 unidades de ladrillos con niveles de inclusión de 0%, 0,5%, 0,8%, 1,2% y 1,5% de estos componentes. Los hallazgos mostraron cambios significativos en la absorción de agua y la resistencia a la compresión, destacando el efecto positivo de estos aditivos en las propiedades de los ladrillos. El estudio concluyó que la adición de ceniza de algodón y hojas de dátil mejora las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos según las normas vigentes.

Blanco (2022) analiza la influencia de la ceniza de ichu en las propiedades mecánicas de muros de albañilería recubiertos con arcilla cocida. En el análisis de 220 ladrillos, se examinaron niveles de inclusión de ceniza de ichu del 0%, 10%, 15% y 20%, notando variaciones importantes en las propiedades de los materiales. Los resultados demostraron que tanto la absorción de agua como la resistencia a la compresión se veían influenciadas por las distintas concentraciones de ceniza, mostrando una mejora en las características físicas y mecánicas con determinadas proporciones. En particular, se observó un incremento en la absorción de agua proporcional al porcentaje de ceniza, y la resistencia a la compresión fue óptima con una inclusión del 15%. El estudio determina que incorporar ceniza de ichu en estas medidas puede mejorar significativamente la calidad de los muros de albañilería, alineándose con las normativas existentes.

Doğan et al. (2021) conducted research on producing sustainable bricks by integrating natural clay with industrial ash, aiming to assess the impact of different firing temperatures and raw material compositions, while also focusing on reducing industrial ash usage, on the bricks' physical and mechanical traits. Utilizing a quantitative, experimental approach, the study revealed that incorporating fly ash in proportions of 0, 10, 20, 30, and 40%, and firing at temperatures ranging from 900 to 1150 °C, particularly with a 40% ash content, can significantly influence the bricks' characteristics. This adjustment in

composition and temperature showed that mixing industrial ash with clay could create bricks suitable for structural uses. The research highlighted the innovation of using a high percentage of industrial ash and higher firing temperatures to improve the eco-friendliness and performance of the bricks. The findings suggest that including ash in brick production reduces pollution and environmental impact, exemplifying industrial symbiosis and aligning with green engineering, sustainable development, and circular economy principles. This method offers a practical solution for the construction industry, indicating that replacing clay with ash and optimizing the brick firing process holds considerable potential for industrial application.

Vrdoljak (2021) explored the impact of incorporating fly ash into clay masonry units, focusing on changes in their physical and mechanical properties. Utilizing a quantitative approach with a non-experimental design, the research found that adding fly ash to the clay mixture before firing at high temperatures notably enhances the compressive strength of the bricks. This enhancement is primarily attributed to the increased sintering effect provided by the fly ash, which contributes to the composite's integrity. Additionally, the study observed a direct relationship between the material's absorption capacity, density, and mechanical strength; lower absorption capacity correlates with higher density and mechanical robustness. The findings suggest that integrating fly ash into clay bricks in appropriate ratios, followed by high-temperature firing, significantly boosts the bricks' physical and mechanical performance. This improvement is linked to increased vitrification during the firing process, despite fly ash's inherently lower density compared to clay. Therefore, the research concludes that fly ash addition, combined with high-temperature heat treatment, offers a substantial benefit to the strength and density of clay masonry units, highlighting its value in enhancing brick quality.

Enid et al. (2021) investigated the use of sugarcane bagasse ash in creating ecological bricks, aiming to assess its effect on the bricks' mechanical strength through a quantitative, experimental approach. Analyzing 20 handmade bricks, the study found that increasing bagasse ash content while reducing tannery sludge amounts led to higher water absorption rates. Optimal results were achieved with a 15% ash substitution in the mix. Compressive

strength tests indicated that bricks with 15% ash content produced a metallic sound, suggesting higher hardness, especially when fired at lower temperatures, compared to those with lower ash and higher mud content. The research concluded that incorporating bagasse ash and industrial sludge into bricks not only addresses waste management issues but also enhances the ecological sustainability and mechanical properties of the bricks, reducing production costs effectively.

En el artículo de Villacís et al. (2022) publicado en la revista Tecnológica Epsol, se examinó el impacto de utilizar ceniza volcánica y cascarilla de arroz para consolidar arcillas expansivas. Adoptando métodos cuantitativos y un diseño experimental, la investigación se centró en evaluar el efecto de estas cenizas en la mejora de las características físico-mecánicas y la composición química de los suelos. Al analizar tres variedades de arcillas expansivas, se observó que una incorporación del 20% de estas cenizas potenciaba notablemente las cualidades del suelo, mientras que una adición del 30% presentaba mejoras menos pronunciadas, sugiriendo un límite óptimo para la adición de cenizas. Los hallazgos subrayan el potencial de la combinación de ceniza volcánica y cascarilla de arroz como una estrategia novedosa y ecológica para el refuerzo de suelos arcillosos expansivos, representando un progreso significativo en el campo de la ingeniería geotécnica.

Cedeño, Álaba y Ruiz (2022) en su estudio publicado en la revista Polo del Conocimiento, investigaron el efecto de la inclusión de cenizas de hornos artesanales en la fabricación de ladrillos, con el fin de determinar su impacto en las propiedades físicas y mecánicas de estos. Mediante un enfoque experimental y la adición de cenizas en proporciones del 5%, 10%, 15% y 20%, encontraron que los ladrillos con un 5% de ceniza presentaban las mejores propiedades, cumpliendo con las normativas de resistencia y absorción de humedad para ladrillos cerámicos. Se observó que el aumento en el porcentaje de ceniza reducía el peso de los ladrillos, sin comprometer su calidad según los estándares. La investigación concluye que la adición de cenizas mejora las características de los ladrillos, marcando un progreso en la ingeniería de materiales y promoviendo la sostenibilidad en la producción de materiales de construcción.

Huaquisto y Quispe (2021) exploraron la posibilidad de optimizar el uso de ceniza volante en mezclas de concreto para mejorar la sostenibilidad ambiental sin comprometer su integridad estructural, según su investigación publicada en la Revista de Investigaciones Altoandinas. A través de un enfoque cuantitativo y un diseño experimental, examinaron cómo diferentes proporciones de ceniza volante (2.5%, 5.0%, 10.0%, y 15.0%) afectan la resistencia a la fractura del concreto a lo largo de 7, 14, 28 y 90 días. Los hallazgos mostraron que incorporaciones de 2.5% y 5.0% de ceniza mejoraron ligeramente la resistencia del concreto a los 28 días, mientras que proporciones de 10.0% y 15.0% resultaron en una disminución de la resistencia. La conclusión es que la ceniza volante es un sustituto viable del cemento hasta un límite del 10%, más allá del cual la resistencia del concreto se ve afectada negativamente. Este estudio aporta una perspectiva valiosa para la ingeniería civil y la construcción sostenible, al demostrar una metodología para reducir el impacto ambiental del concreto manteniendo sus propiedades mecánicas clave.

En términos de las **bases teóricas** relacionadas con las variables abordadas en este trabajo de investigación, hacemos referencia a las teorías pertinentes a la variable dependiente, que es la categoría de "ladrillos ecológicos". En el contexto de esta investigación, es importante definir las características esenciales de los ladrillos y bloques.

**Ladrillo escologico** es un material de construcción elaborado a partir de arcilla, también se pueden producir mezclando con cenizas volantes, residuos de papel, residuos de madera y otros restos industriales y agrícolas. Estos residuos encuentran un nuevo uso como elementos cruciales en estos materiales, estos sometidos a cocción permiten combinar las propiedades inherentes de la arcilla con los residuos industriales y agrícolas representan un avance significativo en la industria de la construcción, contribuyendo a la gestión más eficaz de los desechos, mejorando los atributos ecológicos en los ladrillos, otorgando a los ladrillos propiedades mejoradas (Sousa, 2023). El **ladrillo ecológico** genera principalmente un impacto favorable, ya que se fabrica mediante una mezcla que combina suelo, agua y cemento, además de incorporar un material ambiental reciclado como sustituto en cualquiera de sus



componentes. Este compuesto se somete a presión a temperatura ambiente, lo que resulta en diversas características que varían según el tipo de material reciclado utilizado en la sustitución parcial de los componentes (Camacho, 2018).

Según Zambrano y Zambrano (2018) destacan el **ladrillo de ceniza de carbón**, desarrollado por Henry Liu en 1998, como uno de los tipos de ladrillos ecológicos más sobresalientes. Este innovador ladrillo aprovecha las cenizas resultantes de las centrales térmicas que utilizan carbón, utilizando además el alto calor generado en su proceso de producción. Henry Liu, reconocido por sus contribuciones en el desarrollo de ladrillos ecológicos, ha jugado un papel crucial en fomentar alternativas de construcción sostenible. Su trabajo ha impactado significativamente en la industria de la construcción, marcando un avance importante hacia prácticas más respetuosas con el medio ambiente. La propuesta de **ladrillos negros**, actualmente en desarrollo por el equipo del MIT liderado por Michael Laracy y Thomas Poinot, busca innovar en el campo de la construcción. Estos ladrillos se fabricarían a partir de residuos de la industria papelera en India, con el objetivo de ofrecer una alternativa sostenible a los tradicionales ladrillos rojos. Este enfoque no solo pretende reducir la explotación de recursos naturales, sino también revalorizar los desechos industriales, proponiendo una solución constructiva más amigable con el ambiente. **Los ladrillos de cáñamo, paja y cáscara de cacahuete** representan innovaciones en la construcción ecológica, destacándose por su resistencia y propiedades aislantes. Estos no solo contribuyen a la eficiencia energética, disminuyendo la necesidad de calefacción y aire acondicionado, sino que también favorecen la sostenibilidad ambiental. Por otro lado, los ladrillos irregulares, hechos de arcilla, ofrecen una solución estética y funcional para la albañilería, con formas geométricas variadas que optimizan la ventilación natural y mantienen fresco el interior de los edificios. Además, proporcionan aislamiento acústico y preservan el aspecto visual original de las fachadas, reforzando así su valor tanto en eficiencia energética como en diseño arquitectónico. **Los ladrillos de tierra o arena comprimida**, aunque más caros y frágiles que los tradicionales, ofrecen excelente aislamiento térmico, lo que puede incrementar los costos de construcción por la necesidad de aislamiento

adicional. En contraste, los ecoladrillos hechos con residuos domésticos, como plástico reciclado, son ideales para proyectos menores. Se fabrican llenando envases de plástico con materiales no orgánicos y cemento, resultando en ladrillos resistentes adecuados para la construcción

### **Propiedades físicas mecánicas**

Las propiedades físico-mecánicas son esenciales para determinar la calidad y la idoneidad de los ladrillos en aplicaciones de construcción. Incluyen la resistencia a la compresión, que mide la capacidad del ladrillo para soportar cargas sin fracturarse; la absorción de agua, indicativa de la porosidad y la densidad del material, afectando su durabilidad y resistencia a las condiciones climáticas; la estabilidad al corte, que se refiere a la capacidad de resistir fuerzas laterales sin deformarse; las variaciones dimensionales, que deben ser mínimas para asegurar una uniformidad en la construcción; y la distorsión o alabeo, que es la deformación del ladrillo debido a cambios en la temperatura y la humedad durante el proceso de fabricación. Estas características son fundamentales para garantizar que los ladrillos cumplan con los requisitos estructurales y estéticos de un proyecto, así como para promover la sostenibilidad y la eficiencia energética en la edificación (Chuctaya, 2023).

**Propiedades físicas.** Son las características del material que se derivan principalmente de su estructura y que pueden ser alteradas sin que se produzca un cambio en su composición. Estas propiedades son observables y cuantificables (Puentes, 2021). Las características físicas que se examinan en un ladrillo incluyen: Cambios en el tamaño, donde se analiza cualquier variación en las dimensiones de los ladrillos utilizando los métodos definidos en las Normas NTP E.70.

**Variación dimensional.** Se refieren a las variaciones que ocurren debido a fluctuaciones en la temperatura o la humedad, variaciones en el proceso de secado y cocción, así como a deficiencias en el proceso de fabricación que resultan en una falta de uniformidad en los ladrillos de arcilla. Por otro lado, menciona que variación dimensional es las diferencias en tamaño y forma que pueden presentarse entre unidades individuales de ladrillos (Andía y Sayritupac, 2022).

**Alabeo.** El alabeo en los ladrillos se refiere a la deformación caracterizada por una curvatura o torsión que modifica su estructura plana inicial. Esta distorsión, especialmente cuando es acentuada, puede resultar en la creación de uniones más gruesas y, como resultado, una reducción en el área efectiva de adherencia con el mortero, generando espacios vacíos. Tales condiciones predisponen a las estructuras a sufrir fallos estructurales debido a la tracción por flexión en las capas superiores contiguas de la mampostería. Este problema de deformación se produce principalmente durante las fases de secado o cocción del ladrillo, originado por desequilibrios en las tensiones internas. Estas tensiones desiguales suelen ser el resultado de una distribución heterogénea de la humedad o por variaciones en el ritmo de aumento y disminución de la temperatura durante el proceso de cocción. (Murga, 2021).

**Absorción.** Justo y Umpiri (2022) describen la absorción de agua en ladrillos como el proceso mediante el cual el agua se introduce en los espacios vacíos del material. Esta capacidad de un ladrillo para absorber y contener agua es un indicador crucial que afecta tanto su funcionamiento como su longevidad, además de su capacidad para resistir condiciones meteorológicas extremas. La medición de la absorción de agua en los ladrillos se expresa típicamente en términos de porcentaje respecto al peso seco del ladrillo, lo cual refleja la cantidad de agua que el ladrillo puede absorber al estar sumergido en agua durante un tiempo determinado.).

### **Propiedades mecánicas**

Se refieren a su habilidad para soportar y transmitir fuerzas o cambios de forma. Estas características detallan cómo un material responde ante la aplicación de distintos tipos de fuerzas, ya sean de tracción, compresión, impacto, repetitivas como en la fatiga, o aquellas aplicadas bajo condiciones de alta temperatura (Garzón y Morales). En la investigación actual, se examinan dos propiedades críticas de los materiales de construcción: la resistencia a la compresión de unidades individuales y la resistencia a la compresión de prismas.

**Resistencia a la compresión de unidades:** La resistencia a la compresión de los ladrillos de arcilla representa un estándar crucial de calidad en su fabricación, abarcando la elección y proporción de materiales, así como

factores de cocción como la temperatura y el tiempo. Esta propiedad es vital para juzgar la calidad de los materiales y las materias primas empleadas en la producción de los ladrillos, permitiendo calcular la resistencia a la compresión,  $f'm$ , a través de fórmulas que relacionan las características tanto de los ladrillos como de los morteros usados. La capacidad de los ladrillos de arcilla para resistir fuerzas compresivas sin romperse o deformarse es una medida clave, evidenciando su aptitud para aguantar cargas aplicadas (Piscal et al. 2012).

**Resistencia a la compresión de prismas.** La resistencia a la compresión en pilas de ladrillos se refiere a la capacidad de estas estructuras, formadas por múltiples ladrillos apilados y unidos con mortero, para resistir fuerzas o cargas aplicadas verticalmente sin experimentar fallas. Este parámetro es esencial para evaluar la solidez y durabilidad de construcciones de mampostería, asegurando que puedan soportar el peso propio de la estructura, así como cargas adicionales como las provocadas por el uso y ocupación del edificio, condiciones climáticas, entre otros (García, 2022).

### **Cenizas de Capulí**

El capulí es un árbol o planta leñosa que puede crecer entre 5 y 15 metros de altura, aunque en algunas ocasiones puede llegar a alcanzar los 38 metros. Su corteza exterior presenta un tono café oscuro, mientras que la interna es de color blanquecino. Sus flores, que se encuentran en racimos numerosos, son pequeñas y de color blanco, y sus frutos son de color negro. El tronco del árbol es largo y recto en entornos boscosos, pero en áreas más abiertas, tiende a ser corto y ancho. Las raíces del capulí crecen rápidamente y alcanzan una profundidad de hasta 60 cm.

El capulí se caracteriza por ser una madera de rápido crecimiento que se cultiva en suelos pobres y con un bajo costo de producción, lo que la convierte en una excelente opción para la reforestación. Esta madera es dura y resistente a insectos y hongos, y las ramas jóvenes son fuertes y suaves al tacto. Después de 6 a 8 años de cultivo, la madera del capulí adquiere un tono rojizo y se utiliza en la fabricación de herramientas, postes, carbón de leña, guitarras, muebles y ataúdes (Aldás, 2023).

Las cenizas de capulí se refieren a los residuos resultantes de la combustión de la madera del capulí. La incorporación en la fabricación de

ladrillos de arcilla es una innovadora aproximación hacia la construcción sostenible y el aprovechamiento de residuos agrícolas. El capulí, un árbol frutal común en varias regiones, genera cenizas que pueden ser utilizadas como un aditivo en la mezcla de arcilla para la producción de ladrillos, ofreciendo potenciales beneficios ambientales y técnicos.

### **Normas técnicas peruanas**

#### **Normas técnicas peruanas 319.604 Y 613**

Dispone los procesos para la demostración y evaluación de las características físicas y mecánicas del ladrillo recubierto de arcilla utilizado en albañilería.

#### **Norma Técnica Peruana E.070**

Para Chuctaya (2023) afirma que: la normativa vigente dicta los principios esenciales para la evaluación, elección y diseño de materiales, así como las pautas para asegurar la calidad, realizar la obra y supervisar edificaciones que utilizan predominantemente piedra reforzada y tallada. En el caso de estructuras específicas hechas de aluminio, tales como chimeneas, arcos, muros de contención y zonas de almacenamiento, se procurará aplicar las estipulaciones de esta normativa en la medida de lo posible. Cualquier técnica de construcción en mampostería que se desvíe de los lineamientos de esta regulación necesitará la aprobación explícita del Ministerio de Vivienda, Construcción y Salud, según lo citado por (San Bartolome, 2005).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **Tipo de Investigación**

La investigación fue llevada a cabo como un estudio aplicado, buscando comprender, intervenir, desarrollar y transformar una situación problemática específica. Está centrada en la aplicación directa sobre problemas concretos, orientada a resolver cuestiones prácticas y específicas que emergen en la ingeniería civil (Borja, 2016).

Los ladrillos ecológicos representan una tendencia emergente en el campo de la ingeniería civil, particularmente en diseño estructural y arquitectura, destacándose por su compromiso con la sostenibilidad y la minimización del impacto ambiental. La investigación aplicada en este campo se enfoca en perfeccionar y realzar las características de estos ladrillos, desde su resistencia hasta su funcionalidad, con el objetivo de fomentar la innovación y la integración de los ladrillos ecológicos en el sector constructivo.

##### **Diseño de investigación**

Citando a Borja (2016) afirma que la investigación como experimental permite al investigador manipular variables independientes, para determinar su efecto sobre variables dependientes, al grupo experimental se aplica una estimulación constante, el grupo de control permanece sin recibir dicha intervención, sirviendo este último como referencia para comparar resultados. Este diseño permitió evaluar el efecto de la variable manipulada en el estudio. Este estudio se basa en la manipulación de la variable independiente, es decir, si la manipulación de la variable provoca un cambio en el comportamiento de la variable dependiente, la hipótesis será verdadera porque la variable independiente correspondiente a la variable independiente tendrá control consciente. Se añadió ceniza de Capri al 5%, 10% y 15% de la masa del suelo para evaluar su efecto sobre las propiedades físicas y mecánicas de los ecoladrillos.

## **3.2. Variables y operacionalización**

### **Variable independiente: Cenizas de Capulí**

**Definición conceptual:** Las cenizas de Capulí es el residuo que queda después de quemar madera de Capulí, cuando la madera se quema, la materia orgánica se descompone debido a la alta temperatura, dejando a tras principalmente minerales y otros materiales inorgánicos en forma de ceniza. Las cenizas de capulí se obtienen al incinerarse a los 190°C y 220°C y experimenta un ligero pico endotérmico a 750°C lo que indica un posible cambio de fase y cambio en las propiedades del material (Paredes, 2019).

**Definición operacional.** Se llevará a cabo la dosificación empleando el 5%, 10% y 15% de cenizas de Capulí para la fabricación de ladrillos ecológicos, sustituyendo la tierra y la piedra por los porcentajes de ceniza de Capulí.

### **Variable dependiente: Propiedades físico-mecánicas en ladrillos ecológicos**

**Definición conceptual.** Las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos son aspectos críticos que determinan su idoneidad y desempeño en aplicaciones de construcción. Estas propiedades varían dependiendo de los materiales y métodos utilizados en la fabricación de los ladrillos.

**Definición operacional.** Para determinar las propiedades físicas de los ladrillos ecológicos, se aplican distintos procedimientos de prueba. Las propiedades físicas se evalúan mediante ensayos como el de absorción, alabeo y variabilidad. En cuanto a las propiedades mecánicas, se examinan a través del ensayo de resistencia a la compresión.

## **3.3. Población, muestra y muestreo**

### **3.3.1. Población**

Se refiere al conjunto de elementos o unidades de análisis que forman parte del espacio y el tiempo en los que se lleva a cabo la investigación, y que cumplen con criterios específicos, siendo estos objetos de estudio para obtener información o deducir conclusiones

(Carrasco, 2017). En esta investigación, la población estudiada consiste en diversas variedades o muestras de ladrillos ecológicos, enfocándose en el análisis de sus características físicas y mecánicas. La población abarcó un total de 300 unidades de ladrillos, distribuidas de la siguiente manera:

### 3.3.2. Muestra y muestreo

**3.3.2.1. La muestra.** El fragmento describe la muestra utilizada en una investigación como un ejemplo representativo y objetivo de la población total (Carrasco, 2017). En este caso, la muestra se presenta idéntica a la población completa, lo que significa que se analizaron todos los elementos de dicha población en este caso, los 92 ladrillos. Esto sugiere que los hallazgos del estudio se pueden aplicar directamente a toda la población de ladrillos, ya que todos fueron examinados.

Tabla 1. *Cantidad de ladrillos para ensayos físico-mecánicos*

Ensayos físicos mecánicos	Cantidad de ladrillos por cada dosificación de cenizas de Capulí			
	0%	5%	10%	15%
Absorción	5	5	5	5
Alabeo	5	5	5	5
Variación dimensional	5	5	5	5
Ensayos de comprensión en unidades	5	5	5	5
Ensayos de comprensión en prismas	3	3	3	3
Tota de unidades por ensayo	23	23	23	23
Cantidad total de unidades de ladrillo	92			

Fuente: Elaboración propia

**3.3.2.2. El muestreo.** El muestreo es un método aplicado en la investigación que implica elegir un grupo representativo de unidades o elementos de una población completa para incluirlos en el estudio. Para esta investigación se empleó un muestreo no probabilístico intencional o muestreo por



conveniencia. Esta técnica de muestreo permite que el investigador seleccione de manera deliberada ciertos elementos o unidades para la muestra, basándose en su criterio y experiencia.

### **3.3.3. Unidad de análisis**

Representa cada uno de los bloques individuales seleccionados para ser sometidos a ensayos y análisis en el laboratorio.

## **3.4. Las técnicas e instrumentos de recolección de datos**

**3.4.1. Técnicas de investigación.** Comprenden un conjunto de reglas y pautas que orientan las acciones llevadas a cabo por los investigadores a lo largo de las distintas fases del proceso de investigación científica. Estas técnicas engloban una serie de métodos, procesos y dispositivos empleados para recolectar datos e información, contribuyendo así al avance del conocimiento. Se aplica siguiendo los procedimientos especificados dentro de un marco metodológico de investigación concreta (Carrasco, 2017).

### **3.4.2. Recolección de datos.**

Hernández, Fernández y Baptista (2014) explican que la recopilación de datos se efectúa dentro de los entornos naturales y cotidianos en los que se desenvuelven los participantes o las unidades de análisis. Esto implica que la obtención de información se lleva a cabo en los contextos reales y habituales de las entidades sujetas a estudio.

### **3.4.3. Observación directa**

Baena (2017) afirma que: la observación directa como el proceso en el que el investigador personalmente reúne información, sin interactuar con las unidades de análisis y confiando en su capacidad de observación. En la investigación realizada, se empleó

la observación directa como técnica para la recolección de datos, permitiendo un contacto directo con todas las unidades de estudio, tras la realización de cada ensayo bajo la supervisión de los profesionales del laboratorio.

#### **3.4.4. Instrumento de recolección de datos**

Los instrumentos para la recolección de datos son medios a través de los cuales se obtienen datos e información, utilizando preguntas y elementos que requieren la respuesta por parte del sujeto investigado (Ñupas et al, 2018). Los instrumentos actúan como soportes esenciales que permiten que las técnicas alcancen sus objetivos (Baena, 2017), en el caso de la investigación propuesta se utilizó ensayos efectuados en laboratorio validados para poder determinar el comportamiento de la ceniza de Capulí en las propiedades físico-mecánicas de ladrillos ecológicos.

Se han realizado los siguientes ensayos: Variación dimensional, alabeo, absorción, resistencia a la compresión, teniendo en cuenta la NTP E.70

#### **3.4.5. Validación del instrumento**

Hernández et al. (2014) definen la validez de un instrumento como la capacidad de este para medir con precisión la variable de interés, logrando así cumplir con el propósito para el cual fue desarrollado. La validación del instrumento de investigación se llevó a cabo mediante la revisión de expertos, en la que ingenieros con especialización en el campo de estudio evaluaron los instrumentos.

### **3.4.6. Confiabilidad del instrumento**

La confiabilidad de un instrumento de medición alude a la consistencia con la que este produce los mismos resultados al ser aplicado varias veces a la misma unidad de análisis (Hernández, et al, 2014). La investigación presentada garantiza la certificación de equipos experimentales para su aplicación en pruebas científicas. Contiene las evaluaciones ejecutadas y sugeridas por especialistas en la materia, considerando las regulaciones establecidas por las normativas ASTM y NTP.

## **3.5. Procedimientos**

### **Etapas 1: Revisión de bibliografía y adquisición de materiales**

Revisión bibliográfica. Investiga sobre las propiedades típicas de ladrillos ecológicos y sobre la utilización de cenizas en construcción.

Adquisición de materiales. Compra de ladrillos de arcilla común, madera de Capulí para la obtención de cenizas y materiales para producción e ladrillos ecológicos.

### **Etapas 2: Producción de ladrillos artesanales**

Mezcla base: Preparar mezcla base de ladrillo ecológico sin adición de cenizas.

Producción de ladrillos con cenizas: Realizar mezclas con la adición de cenizas del 5%, 10% y 15%.

Fabricación de ladrillos: Utilizando las mezclas preparadas, elaborar ladrillos y asegurar de seguir un procedimiento adecuado.

### **Etapas 3: Evaluación de propiedades físicas**

Los ensayos para medir la absorción, el alabeo y la variación dimensional se aplicarán a cada una de las unidades de albañilería elegidas para el análisis. Este enfoque permite una evaluación integral de las propiedades físicas esenciales de los materiales de construcción, lo cual es crucial para determinar su idoneidad y rendimiento en aplicaciones prácticas.

#### **Etapa 4: Evaluación de propiedades mecánicas**

Resistencia a la comprensión: Se procederá a realizar el ensayo de resistencia a la comprensión utilizando una prensa para medir la resistencia de comprensión de ladrillos.

#### **Etapa 5: Periodo de curación**

Selección de tiempos: Definir diferentes tiempos de curación de 7, 14, 21 y 28 días.

Repetir ensayos: Realizar los ensayos de absorción, alabeo, variación dimensional y comprensión en ladrillos en cada periodo de curación.

#### **Etapa 6: Análisis y comparación de resultados**

Tabulación de datos. Organizar los resultados obtenidos en tablas comparativas.

Comparación: Cotejar los resultados de las diferentes mezclas y periodos de curación.

Análisis estadístico. Utilizar herramientas estadísticas para determinar la significancia de las diferencias observadas.

Gráficos: Elaborar gráficos que muestren las variaciones en las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos con diferentes porcentajes de cenizas en distintos tiempos de curación.

Interpretación. Relacionar los resultados obtenidos con la literatura revisada y con las características propias de los materiales utilizados.

#### **Etapa 7: Conclusiones y recomendaciones**

Resumen: Describir los hallazgos más importantes de la investigación.

Recomendaciones: Sugerir posibles aplicaciones, limitaciones o áreas de mejoras basadas en los resultados obtenidos.

### **3.6. Método de análisis de datos**

El procedimiento para el análisis de datos abarca los métodos estadísticos que se emplearon para examinar la información recabada, organizando dicha información en tablas estadísticas diseñadas de acuerdo con las variables investigadas y las interrelaciones de datos establecidas. Los métodos específicos para analizar los datos

dependerán de la naturaleza de los mismos, recogidos durante la fase de investigación de campo. En el caso de datos cuantitativos, será preciso codificarlos y trasladarlos a una matriz de datos en un programa de hoja de cálculo. Luego, es necesario realizar un análisis cuantitativo o estadístico de cada variable implicada en el estudio, utilizando técnicas de estadística descriptiva y de inferencia estadística (Borja, 2016). Utilizando los datos obtenidos a través de los instrumentos de recolección, se organizarán en Microsoft Excel para su análisis posterior. Este análisis se llevará a cabo con el soporte del programa de estadística SPSS Statistics. Mediante la implementación de pruebas paramétricas o no paramétricas, dependiendo de la situación específica, será posible confirmar o descartar la hipótesis planteada.

### **3.7. Aspectos éticos**

Como parte de la ética propia de toda investigación científica, el presente estudio se realizaron todos los procedimientos según sus normativas correspondientes y vigentes, además, buscará comparar los resultados con los parámetros que indica el RNE E.070. Por otra parte, se aplicarán diferentes principios éticos antes, durante y luego de su desarrollo tales como beneficencia, justicia, autonomía, probidad, entre otros más que se recomienda en el manual de ética de la Universidad César Vallejo.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Exploración descriptiva

#### 4.1.1. Derivaciones de las características físico-mecánicas de ladrillos ecológicos

##### Ensayo de variación dimensional

Para realizar este cálculo, se seleccionaron 80 muestras que se utilizarían en cada una de las mezclas con un 0%, 5%, 10% y 15% de ceniza de capulí. Luego, se tomaron medidas de las caras, obteniendo así cuatro medidas por cada cara del ladrillo. Estas medidas se promediaron, ya partir del valor promedio se calculó el porcentaje correspondiente.

Tabla 2. Resultados del ensayo variación dimensional de ladrillos ecológicos muestra patrón 0%

N°	Largo (mm)					Ancho (mm)					Anlto (mm)				
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	Prom.L <sub>i</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	Prom.A <sub>i</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	Prom.h <sub>i</sub>
MC-1 0%	214.6	213.9	214.3	216.0	214.7	120.0	118.7	120.1	119.2	119.5	82.4	80.7	80.9	79.5	80.9
MC-2 0%	218.9	213.9	212.1	212.8	214.4	118.6	120.2	118.2	119.4	119.1	80.9	82.4	82.0	81.7	81.8
MC-3 0%	214.6	215.0	215.3	214.6	214.9	121.1	120.8	120.6	120.0	120.6	79.0	80.0	76.5	77.9	78.4
MC-4 0%	215.4	215.2	215.6	215.2	215.4	121.3	122.7	121.4	122.5	122.0	79.4	79.3	79.8	79.4	79.5
MC-5 0%	214.5	216.3	214.2	214.5	214.9	120.3	120.6	119.5	120.6	120.3	80.9	79.0	80.4	81.2	80.4
	LARGO PROMEDIO L <sub>p</sub>				214.8	LARGO PROMEDIO L <sub>p</sub>				120.3	LARGO PROMEDIO L <sub>p</sub>				80.2
	LARGO NOMINAL L <sub>0</sub>				220.0	LARGO NOMINAL L <sub>0</sub>				125.0	LARGO NOMINAL L <sub>0</sub>				80.0
	DESV. ESTANDAR				0.3	DESV. ESTANDAR				1.1	DESV. ESTANDAR				1.3
	COF. DE VARIACIÓN				0.2	COF. DE VARIACIÓN				0.9	COF. DE VARIACIÓN				1.6
	VARIACIÓN DIM. (%)				2.3	VARIACIÓN DIM. (%)				3.8	VARIACIÓN DIM. (%)				-0.2

Nota: Promedios, coeficiente de variación y variación dimensional.

Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

En la Tabla 2, se pudo observar que los ladrillos que no contienen ninguna adición (considerados como la muestra estándar) exhiben un coeficiente de variación del 0,2% en su longitud, del 0,9% en su anchura y del 1,6. % en su altura. Estos valores se encuentran dentro de los límites aceptables, ya que están por debajo del umbral del 40% establecido en la norma NTP E. 0.70. Además, es importante destacar que la variación dimensional en la muestra estándar en términos de longitud, anchura y altura es del 2,3%, 3,8% y -0,2%, respectivamente.

**Tabla 3. Resultados del ensayo variación dimensional de ladrillos ecológicos con 5% de incorporación de ceniza de capulí**

N°	Largo (mm)					Ancho (mm)					Anlto (mm)				
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	Prom.L <sub>i</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	Prom.A <sub>i</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	Prom.h <sub>i</sub>
MC-1 5%	214.6	212.4	213.1	212.4	213.1	119.9	120.3	120.4	121.9	120.6	77.0	77.5	76.3	76.1	76.7
MC-2 5%	215.8	213.3	215.1	214.4	214.7	121.5	119.8	121.2	119.9	120.6	75.9	75.9	79.3	77.1	77.1
MC-3 5%	212.0	211.2	212.7	211.2	211.8	119.3	121.1	119.8	119.2	119.9	75.9	76.5	76.8	77.7	76.7
MC-4 5%	212.9	211.3	213.6	211.4	212.3	119.9	121.6	119.8	121.1	120.6	76.8	77.0	76.8	76.1	76.7
MC-5 5%	213.5	212.3	213.2	213.6	213.2	119.4	120.4	119.6	118.8	119.6	77.2	77.4	77.5	76.2	77.1
	LARGO PROMEDIO L <sub>p</sub>				213.0	LARGO PROMEDIO L <sub>p</sub>				120.2	LARGO PROMEDIO L <sub>p</sub>				76.9
	LARGO NOMINAL L <sub>0</sub>				220.0	LARGO NOMINAL L <sub>0</sub>				125.0	LARGO NOMINAL L <sub>0</sub>				80.0
	DESV. ESTANDAR				1.1	DESV. ESTANDAR				0.5	DESV. ESTANDAR				0.2
	COF. DE VARIACIÓN				0.5	COF. DE VARIACIÓN				0.4	COF. DE VARIACIÓN				0.3
	VARIACIÓN DIM. (%)				3.2	VARIACIÓN DIM. (%)				3.8	VARIACIÓN DIM. (%)				3.9

*Nota:* Promedios, coeficiente de variación y variación dimensional

Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

La Tabla 5 revela que los ladrillos que contienen una adición del 5% muestran un coeficiente de variación del 0,5% en su longitud, del 0,4% en su anchura y del 0,3% en su altura. Estos resultados son aceptables, ya que están por debajo del umbral del 40% establecido en la norma NTP E. 0.70. Además, es importante señalar que la variación dimensional en la muestra de referencia en términos de longitud, anchura y altura es del 3,2%, 3,8% y 3,9%, respectivamente.

**Tabla 4. Resultados del ensayo variación dimensional de ladrillos ecológicos con 10% de inclusión de ceniza de capulí**

N°	Largo (mm)					Ancho (mm)					Anlto (mm)				
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	Prom.L <sub>i</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	Prom.A <sub>i</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	Prom.h <sub>i</sub>
MC-1 10%	214.8	212.5	213.1	213.8	213.6	119.5	119.4	121.2	119.1	119.8	79.6	78.2	81.1	80.4	79.8
MC-2 10%	214.4	213.6	215.5	213.5	214.3	120.2	120.8	121.7	119.5	120.6	80.8	79.2	80.9	80.8	80.4
MC-3 10%	213.7	212.1	213.7	213.6	213.3	120.1	118.8	118.6	119.9	119.4	81.3	81.3	81.3	80.4	81.1
MC-4 10%	212.7	210.2	212.7	210.3	211.5	119.1	117.7	117.9	118.3	118.3	80.6	79.8	80.2	78.5	79.8
MC-5 10%	213.3	214.5	214.4	213.1	213.8	121.5	120.4	120.4	119.4	120.4	80.8	80.1	80.1	80.9	80.5
	LARGO PROMEDIO L <sub>p</sub>				213.3	LARGO PROMEDIO L <sub>p</sub>				119.7	LARGO PROMEDIO L <sub>p</sub>				80.3
	LARGO NOMINAL L <sub>0</sub>				220.0	LARGO NOMINAL L <sub>0</sub>				125.0	LARGO NOMINAL L <sub>0</sub>				80.0
	DESV. ESTANDAR				1.1	DESV. ESTANDAR				0.9	DESV. ESTANDAR				0.5
	COF. DE VARIACIÓN				0.5	COF. DE VARIACIÓN				0.8	COF. DE VARIACIÓN				0.7
	VARIACIÓN DIM. (%)				3.1	VARIACIÓN DIM. (%)				4.3	VARIACIÓN DIM. (%)				-0.4

*Nota:* Promedios, coeficiente de variación y variación dimensional

Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

La Tabla 6 muestra que al agregar un 10% de cierto material a los ladrillos, las variaciones en sus dimensiones de largo, ancho y alto son de 0,5%, 0,8% y 0,7% respectivamente. Estas variaciones son aceptables, ya que están muy por debajo del límite del 40% establecido por la norma técnica NTP E. 0.70. Además, se observa que en una muestra de referencia, las variaciones dimensionales en largo, ancho y alto fueron de 3,1%, 4,3% y -0,4% respectivamente.

Tabla 5. Resultados del ensayo variación dimensional de ladrillos ecológicos con 15% de inclusión de ceniza de capulí

N°	Largo (mm)					Ancho (mm)					Anlto (mm)				
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	Prom.L <sub>i</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	Prom.A <sub>i</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	Prom.h <sub>i</sub>
MC-1 15%	212.6	213.0	212.5	212.6	212.7	122.1	121.3	121.4	120.4	121.3	80.8	80.6	80.1	80.4	80.5
MC-2 15%	212.8	211.8	213.1	211.4	212.3	121.0	119.5	118.1	118.8	119.4	81.8	80.4	80.8	79.8	80.7
MC-3 15%	213.2	212.6	213.4	212.5	212.9	121.8	120.3	121.0	119.8	120.7	80.3	79.8	80.4	80.2	80.2
MC-4 15%	212.7	211.6	210.3	211.6	211.6	121.0	119.8	118.5	119.7	119.8	81.0	80.5	81.2	80.2	80.7
MC-5 15%	212.3	212.2	211.0	212.0	211.9	120.7	119.6	119.6	118.7	119.7	78.8	80.3	81.0	79.8	80.0
	LARGO PROMEDIO L <sub>p</sub>				212.3	LARGO PROMEDIO L <sub>p</sub>				120.2	LARGO PROMEDIO L <sub>p</sub>				80.4
	LARGO NOMINAL L <sub>0</sub>				220.0	LARGO NOMINAL L <sub>0</sub>				125.0	LARGO NOMINAL L <sub>0</sub>				80.0
	DESV. ESTANDAR				0.6	DESV. ESTANDAR				0.8	DESV. ESTANDAR				0.3
	COF. DE VARIACIÓN				0.3	COF. DE VARIACIÓN				0.7	COF. DE VARIACIÓN				0.4
	VARIACIÓN DIM. (%)				3.5	VARIACIÓN DIM. (%)				3.9	VARIACIÓN DIM. (%)				-0.5

Nota: Promedios, coeficiente de variación y variación dimensional

Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

La Tabla 7 revela que cuando se añade un 15% de un componente específico a los ladrillos, sus dimensiones de largo, ancho y alto varían en un 0,3%, 0,7% y 0,4% respectivamente. Estas variaciones son consideradas aceptables para el lote, ya que se mantienen bien por debajo del límite máximo del 40% que establece la norma NTP E. 0,70. Además, se registra que en una muestra estándar, las variaciones en las dimensiones de largo, ancho y alto fueron de 3,5%, 3,9% y -0,5% respectivamente.

Tabla 6. Clasificación de ladrillos ecológicos según norma técnica peruana E.70

Ceniza de capulí	Variación dimensional						Clasificación según NTP. E. 070
	Largo		Ancho		Altura		
		Largo		Ancho		Alto	
0%	214.8	2.30	120.3	3.80	80.2	-0.20	I
5%	213.0	3.20	120.2	3.80	80.0	3.90	I
10%	213.3	3.10	119.7	4.30	80.3	-0.40	I
15%	212.3	3.50	120.1	3.90	80.4	-0.50	I

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que en la Tabla 6, las derivaciones del experimento de variación dimensional, de acuerdo con los valores obtenidos es de tipo I, cumpliendo con la normatividad vigente.



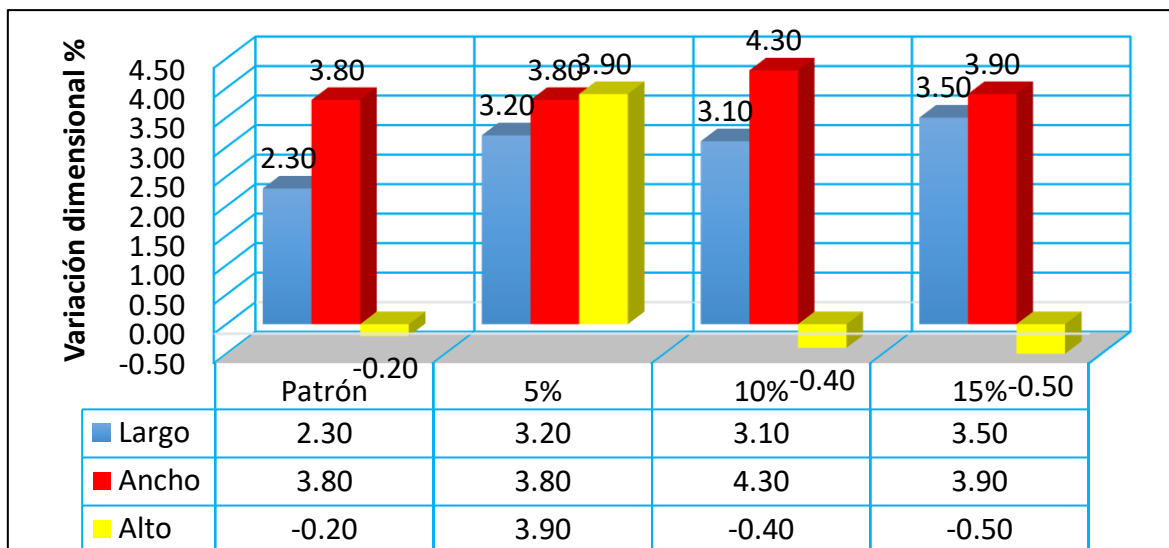


Figura 1. Derivaciones del experimento de variación dimensional de ladrillos ecológicos con 0%, 5%, 10% y 15% de cenizas de capulí.

Fuente: Elaboración propia.

Se evidencia en la Figura 1, la proporción de variación dimensional en el largo ancho y alto es óptimo en los ladrillos con 10% de cenizas de capulí.

### Ensayo de alabeo

Para evaluar el alabeo en ladrillos ecológicos, se eligieron diez muestras para cada composición, variando el contenido de ceniza de capulí en 0%, 5%, 10% y 15%. Siguiendo la normativa NTP E.070, se midieron las deformaciones, manifestadas en la concavidad y convexidad de cada ladrillo, para cuantificar el grado de alabeo según la proporción de ceniza añadida.

Tabla 7. Resultados del experimento de alabeo de ladrillos ecológicos con 0% de cenizas de capulí

N°	CARA SUPERIOR							
	CÓNCAVO			CONVEXO				
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	Prom.	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	Prom.
MC-1 0%	1.06	1.81	1.44	-	-	-	-	-
MC-2 0%	-	-	-	1.16	1.16	2.28	2.28	1.72
MC-3 0%	1.41	1.37	1.39	-	-	-	-	-
MC-4 0%	-	-	-	2.75	2.75	1.97	1.97	2.36
MC-5 0%	1.85	1.82	1.84	-	-	-	-	-
Promedio			1.56	Promedio				2.04
N°	CARA INFERIOR							
MC-1 0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-
MC-2 0%	1.85	0.46	1.16	-	-	-	-	-
MC-3 0%	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-
MC-4 0%	0.00	1.45	0.73	-	-	-	-	-
MC-5 0%	0.72	0.91	0.82	-	-	-	-	-
Promedio			0.54	Promedio				-
CONCAVIDAD PROMEDIO (mm)			1.05	ALABEO PROMEDIO (mm)				1.54
CONVEXIDAD PROMEDIO (mm)			2.04					

Nota: Medidas de alabeo de ladrillos ecológicos en la cara superior e inferior con 0% de adición de cenizas de capulí.

Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

En la Tabla 9, con relación al alabeo de ladrillos ecológicos con 0% ceniza de capulí, se puede observar que, en la cara superior cóncava, la medida promedio es de 1,56 mm, mientras que, en la parte superior convexa, la medida promedio es de 2,04mm. Por otro lado, en la parte inferior cóncava, la medida promedio es de 0,54mm.

Tabla 8. *Derivaciones del experimento de alabeo de ladrillos ecológicos con 5% con inclusión de ceniza de capulí*

N°	CARA SUPERIOR							
	CÓNCAVO			CONVEXO				
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	Prom.	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	Prom.
MC-1 5%	-	-	-	0.33	0.33	0.80	0.80	0.57
MC-2 5%	-	-	-	4.22	4.22	5.21	5.21	4.72
MC-3 5%	-	-	-	0.90	0.90	1.46	1.46	1.18
MC-4 5%	-	-	-	0.60	0.60	1.23	1.79	1.06
MC-5 5%	-	-	-	4.19	4.19	1.72	1.72	2.96
Promedio			-	Promedio				2.09
N°	CARA INFERIOR							
MC-1 5%	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-
MC-2 5%	0.95	1.44	1.20	-	-	-	-	-
MC-3 5%	-	-	-	-	-	-	-	-
MC-4 5%	0.00	1.23	0.62	-	-	-	-	-
MC-5 5%	0.97	0.90	0.94	-	-	-	-	-
Promedio			0.69	Promedio				-
CONCAVIDAD PROMEDIO (mm)			0.69	ALABEO PROMEDIO (mm)				1.39
CONVEXIDAD PROMEDIO (mm)			2.09					

*Nota:* Medidas de alabeo de ladrillos ecológicos en la cara superior e inferior con 5% de adición de cenizas de capulí.

Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

En la Tabla 10, con relación al alabeo de ladrillos ecológicos con 5% ceniza de capulí, se puede observar que, en la cara superior cóncava, la medida promedio es de 0,0mm, mientras que, en la parte superior convexa, la medida promedio es de 2,09mm. Además, en la parte inferior cóncava, la medida promedio es de 2,09mm.

Tabla 9. *Resultados del experimento de alabeo de ladrillos ecológicos con '10% de inclusión de ceniza de capulí.*

N°	CARA SUPERIOR							
	CÓNCAVO			CONVEXO				
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	Prom.	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	Prom.
MC-1 10%	-	-	-	0.00	0.00	1.82	1.82	0.91
MC-2 10%	-	-	-	0.97	0.97	0.47	0.47	0.72
MC-3 10%	-	-	-	1.38	2.58	2.12	2.12	2.05
MC-4 10%	1.24	0.53	0.89	-	-	-	-	-
MC-5 10%	1.24	1.29	1.27	-	-	-	-	-
Promedio			1.08	Promedio				1.23
N°	CARA INFERIOR							
MC-1 10%	0.64	0.41	0.53	-	-	-	-	-
MC-2 10%	0.89	0.44	0.67	-	-	-	-	-
MC-3 10%	0.49	0.63	0.56	-	-	-	-	-
MC-4 10%	0.87	0.46	0.67	-	-	-	-	-
MC-5 10%	-	-	-	0.61	-	0.81	0.19	0.54
Promedio			0.60	Promedio				0.54
CONCAVIDAD PROMEDIO (mm)			0.84	ALABEO PROMEDIO (mm)				0.86
CONVEXIDAD PROMEDIO (mm)			0.88					

*Nota:* Medidas de alabeo de ladrillos ecológicos en la cara superior e inferior con 10% de adición de cenizas de capulí.

Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

En la Tabla 10, con relación al alabeo de ladrillos ecológicos con 10% ceniza de capulí, se puede observar que, en la cara superior cóncava, la medida promedio es de 1,8mm, mientras que, en la parte superior convexa, la medida promedio es de 1,23 mm. Además, en la parte inferior cóncava, la medida promedio es de 0,88 mm y en la parte inferior convexa, la medida promedio es de 0,54mm.

Tabla 10. *Derivaciones del experimento de alabeo de ladrillos ecológicos con 15% de adición de ceniza de capulí*

N°	CARA SUPERIOR							
	CÓNCAVO			CONVEXO				
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	Prom.	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	Prom.
MC-1 15%	0.56	1.68	1.12	-	-	-	-	-
MC-2 15%	-	-	-	0.62	0.62	1.15	1.15	0.89
MC-3 15%	-	-	-	1.25	1.25	0.79	0.79	1.02
MC-4 15%	-	-	-	0.82	0.82	2.18	2.18	1.50
MC-5 15%	-	-	-	1.28	1.06	0.41	0.41	0.79
Promedio			1.12	Promedio				1.05
N°	CARA INFERIOR							
MC-1 15%	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-
MC-2 15%	1.08	0.83	0.96	-	-	-	-	-
MC-3 15%	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-
MC-4 15%	-	-	-	0.55	0.55	0.67	0.67	0.61
MC-5 15%	1.92	0.86	1.39	-	-	-	-	-
Promedio			0.59	Promedio				-
CONCAVIDAD PROMEDIO (mm)			0.85	ALABEO PROMEDIO (mm)				0.95
CONVEXIDAD PROMEDIO (mm)			1.05					

*Nota:* Medidas de alabeo de ladrillos ecológicos en la cara superior e inferior con 15% de adición de cenizas de capulí.

Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

En la Tabla 10, con relación al alabeo de ladrillos ecológicos con 15% ceniza de capulí, se puede observar que, en la cara superior cóncava, la medida promedio es de 1,12mm, mientras que, en la parte superior convexa, la medida promedio es de 1,05mm. Además, en la parte inferior cóncava, la medida promedio es de 1,05mm y en la parte inferior convexa, la medida promedio es de 0,95mm.

Tabla 11. Clase de ladrillos ecológicos según la norma técnica peruana E.070

Porcentaje de cenizas de capulí	Cóncavo	Convexo	Alabeo máximo	Clasificación según NTP. E. 070
0%	1.05	2.04	2.04	I
5%	0.69	2.09	2.09	I
10%	0.84	0.88	0.88	I
15%	0.85	1.05	1.05	I

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Tabla 11, se puede apreciar con los valores obtenidos, se clasifica como ladrillo de tipo I.

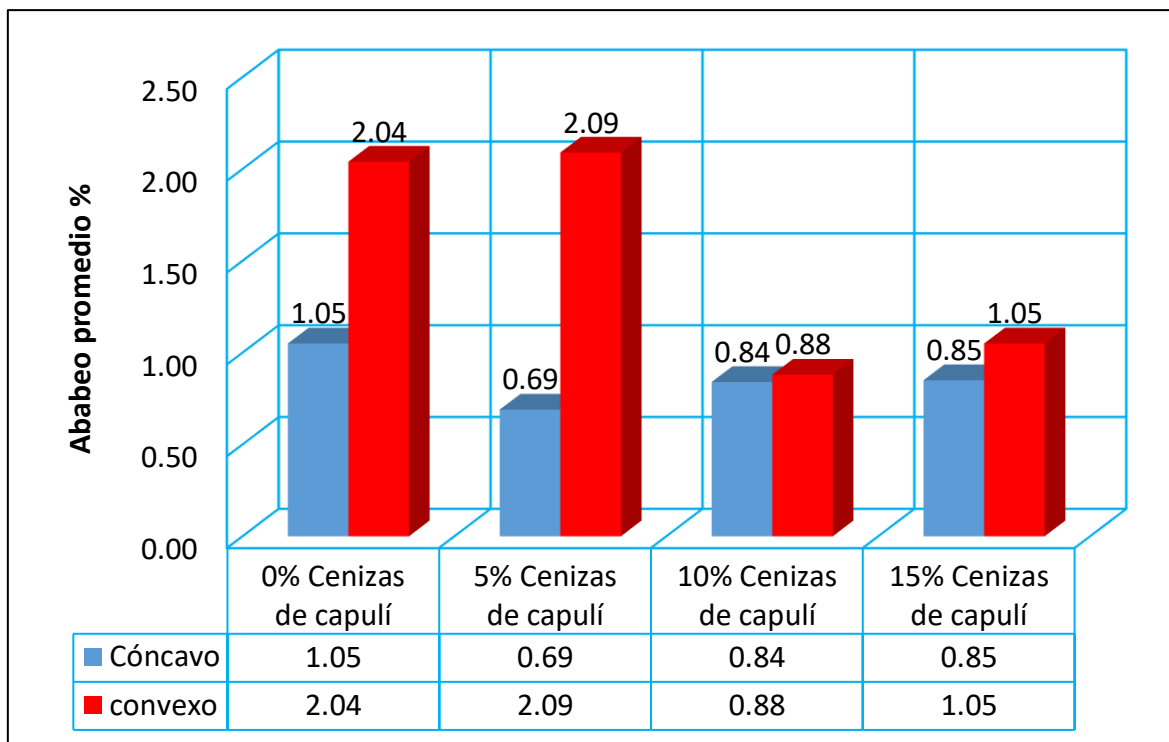


Figura 2. Derivaciones del experimento de alabeo de unidades con 0%, 5%, 10% y 15% de cenizas de capulí

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que en la Figura 2, los resultados de alabeo donde se tomaron las medidas del ladrillo cumpliendo con la relación altura / diámetro, variando la concavidad de 0.69mm a 1.05mm y la convexidad de 0.88mm a 2.09mm, cumpliendo con la normatividad vigente.

### Ensayo de absorción

Para realizar este cálculo, se seleccionaron 5 muestras que se utilizarían en cada una de las mezclas con un 0%, 5%, 10% y 15% de ceniza de capulí.

Tabla 12. Derivaciones del experimento de absorción de ladrillos ecológicos con 0% de inclusión de ceniza de capulí.

Espécimen No.	MC-01 (0%)	MC-02 (0%)	MC-03 (0%)	MC-04 (0%)	MC-05 (0%)
Masa Inicial (Natural) (g)	-	-	-	-	-
Masa Seca al Horno (g)	1827	1678	1600	1433	1861
Masa Saturada en 5 horas (g)	-	-	-	-	-
Masa Saturada en 24 horas (g)	2171	1967	1911	1722	2240
Contenido de Humedad (%)	-	-	-	-	-
Absorción en 5 horas (%)	-	-	-	-	-
Absorción en 24 horas (%)	18.83	17.22	19.44	20.17	20.37
Contenido de Humedad Promedio (%)	-	-	-	-	-
Absorción Promedio en 5 horas (%)	-	-	-	-	-
Absorción Promedio en 24 horas (%)	19.2				

*Nota:* Desarrollo del ensayo de absorción con el 0% de cenizas de capulí  
Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

En la Tabla 12, se pudo notar que, en la prueba de absorción al 0% de ceniza de capulí, el valor promedio es del 19.20%, lo cual está por debajo del límite del 22% establecido por la norma E.070 como criterio de aceptación.

Tabla 13. *Derivaciones de la prueba de absorción de ladrillos ecológicos con '5% de inclusión de ceniza de capulí.*

Espécimen No.	MC-01 (5%)	MC-02 (5%)	MC-03 (5%)	MC-04 (5%)	MC-05 (5%)
Masa Inicial (Natural) (g)	-	-	-	-	-
Masa Seca al Horno (g)	2535	1329	2538	2491	2470
Masa Saturada en 5 horas (g)	-	-	-	-	-
Masa Saturada en 24 horas (g)	3168	1683	3194	3167	3161
Contenido de Humedad (%)	-	-	-	-	-
Absorción en 5 horas (%)	-	-	-	-	-
Absorción en 24 horas (%)	24.97	26.64	25.85	27.14	27.98
Contenido de Humedad Promedio (%)	-	-	-	-	-
Absorción Promedio en 5 horas (%)	-	-	-	-	-
Absorción Promedio en 24 horas (%)	26.51				

*Nota.* Desarrollo del ensayo de absorción con el 5% de cenizas de capulí  
Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

En la Tabla 13, se pudo notar que, en la prueba de absorción al 5% de ceniza de capulí, el valor promedio es del 26,51%, lo cual está por encima del límite del 22% establecido por la norma E.070 como criterio de aceptación, consecuentemente no cumple con la norma.

Tabla 14. Derivaciones del experimento de absorción de ladrillos ecológicos con '10% de inclusión de ceniza de capulí.

Espécimen No.	MC-01 (10%)	MC-02 (10%)	MC-03 (10%)	MC-04 (10%)	MC-05 (10%)
Masa Inicial (Natural) (g)	-	-	-	-	-
Masa Seca al Horno (g)	2607	2730	2716	2624	2702
Masa Saturada en 5 horas (g)	-	-	-	-	-
Masa Saturada en 24 horas (g)	3243	3404	3389	3246	3366
Contenido de Humedad (%)	-	-	-	-	-
Absorción en 5 horas (%)	-	-	-	-	-
Absorción en 24 horas (%)	24.40	24.69	24.78	23.70	24.57
Contenido de Humedad Promedio (%)	-	-	-	-	-
Absorción Promedio en 5 horas (%)	-	-	-	-	-
Absorción Promedio en 24 horas (%)	24.43				

Nota: Desarrollo del ensayo de absorción con el 10% de cenizas de capulí

Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

En la Tabla 14, se pudo notar que, en la prueba de absorción al 10% de ceniza de capulí, el valor promedio es del 24.43%, lo cual está por encima del límite del 22% establecido por la norma E.070 como criterio de aceptación, en conclusión, no cumple con la norma.

Tabla 15. Hallazgos del estudio de absorción de ladrillos ecológicos con una adición del 15% de ceniza de capulí.

Espécimen No.	MC-01 (15%)	MC-02 (15%)	MC-03 (15%)	MC-04 (15%)	MC-05 (15%)
Masa Inicial (Natural) (g)	-	-	-	-	-
Masa Seca al Horno (g)	2739	2754	2747	2428	2724
Masa Saturada en 5 horas (g)	-	-	-	-	-
Masa Saturada en 24 horas (g)	3249	3293	3402	3053	3319
Contenido de Humedad (%)	-	-	-	-	-
Absorción en 5 horas (%)	-	-	-	-	-
Absorción en 24 horas (%)	18.62	19.57	23.84	25.74	21.84
Contenido de Humedad Promedio (%)	-	-	-	-	-
Absorción Promedio en 5 horas (%)	-	-	-	-	-
Absorción Promedio en 24 horas (%)	21.92				

Nota. Desarrollo del ensayo de absorción con el 15% de cenizas de capulí

Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

En la Tabla 14, se pudo notar que, en la prueba de absorción al 15% de ceniza de capulí, el valor promedio es del 23.10%, lo cual está por encima del límite del 22% establecido por la norma E.070 como criterio de aceptación, no cumple no la normatividad.

Tabla 16. Categorización de los ladrillos ecológicos de acuerdo con la normativa técnica peruana E.070

Porcentaje de cenizas de capulí	Absorción %	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Clasificación según NTP E.70
0%	19.02	1.27	6.60	I
5%	26.51	1.16	4.37	No cumple
10%	24.43	0.43	1.76	No cumple
15%	21.92	2.94	13.43	I

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Tabla 16, se puede evidenciar los valores obtenidos, se clasifica como ladrillo de tipo I, los que cumplen con la NTP E.070, y acuerdo NTP 331.017 para el tipo I y II la absorción es sin límite.

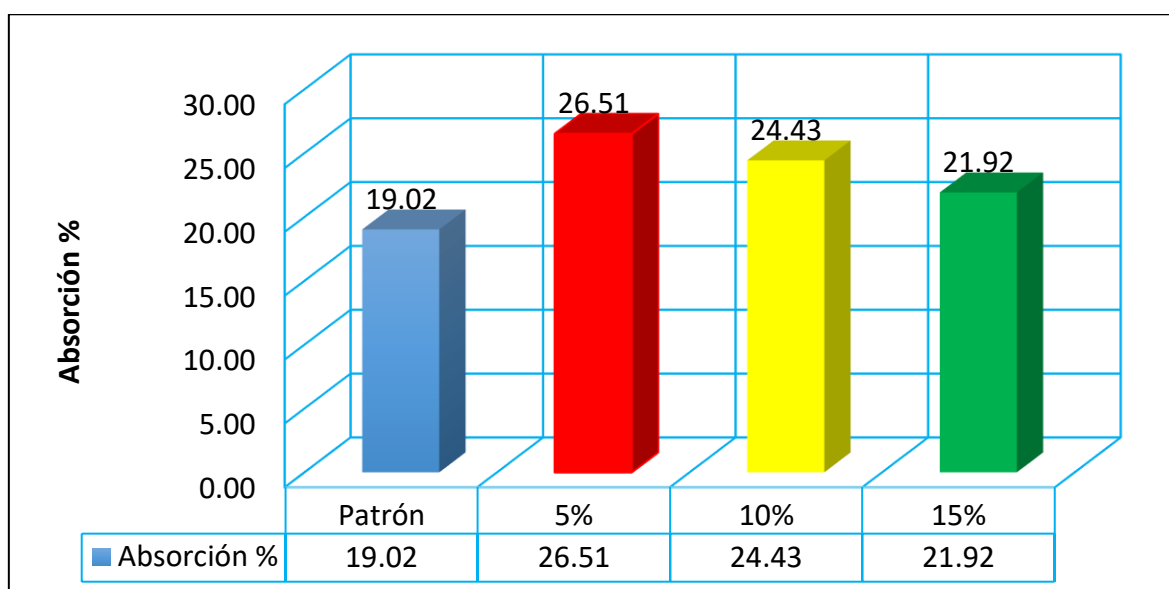


Figura 3. Derivaciones del experimento de absorción de unidades con 0%, 5%, 10% y 15% de cenizas de capulí

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3 muestra que los ladrillos con 0% y 15% de contenido de absorción tienen valores más bajos de absorción, ajustándose a lo que dicta la NTP E.70 (2006). Sin embargo, el resto de las muestras excede el límite de absorción del 22% establecido por esta norma, indicando que no cumplen con los criterios necesarios para su consideración dentro de las especificaciones técnicas.

**Evaluar el impacto de incorporar cenizas de Capulí en las características mecánicas de ladrillos ecológicos, Cajamarca, 2023.**

**Capacidad de resistencia a la compresión por cada unidad de ladrillo ecológico.**



Tabla 17. *Resultados de la prueba de resistencia a la compresión individual de ladrillos ecológicos sin adición de ceniza de capulí.*

Identificación	MC-01 (0%)	MC-21 (0%)	MC-03 (0%)	MC-04 (0%)	MC-05 (0%)
Largo (mm)	214.7	212.3	212.94	211.54	214.82
Ancho (mm)	119.52	119.34	120.72	119.72	121.42
Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	256.6	253.36	257.06	253.26	253.47
Carga Rotura (kN)	114.35	108.38	113.04	94.88	98.68
Carga Rotura (kg)	11660.5	11051.73	11526.91	9675.1	10062.6
Resistencia Bruta (kg/cm <sup>2</sup> )	45.44	43.62	44.84	38.20	39.70
Resistencia de Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	55	55.00	55.00	55.00	55.00
Porcentaje obtenido (%)	90.90%	87.24%	89.68%	76.40%	79.40%

*Nota:* Desarrollo del ensayo de resistencia a la compresión por unidad con el 0% de cenizas de capulí

Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

La Tabla 17 muestra los datos de resistencia a la compresión de ladrillos ecológicos sin incorporación de ceniza de Capulí (0% de ceniza), registrando valores unitarios de resistencia de 45,44 kg/cm<sup>2</sup>, 49,95 kg/cm<sup>2</sup>, 56,47 kg/cm<sup>2</sup>, 67,53 kg/cm<sup>2</sup>, y 36,40 kg/cm<sup>2</sup>. El promedio de estos valores es 51,2 kg/cm<sup>2</sup>. De acuerdo con las normas vigentes, estos ladrillos se categorizan como estructurales Tipo I, ya que su resistencia media supera el umbral de 50 kg/cm<sup>2</sup> requerido para dicha clasificación.

Tabla 18. *Hallazgos obtenidos del estudio de resistencia a la compresión individual de ladrillos ecológicos con inclusión del 5% de ceniza de capulí.*

Identificación	MC-01 (5%)	MC-21 (5%)	MC-03 (5%)	MC-04 (5%)	MC-05 (5%)
Largo (mm)	213.15	214.65	211.79	212.3	213.19
Ancho (mm)	120.61	120.58	119.85	120.61	119.56
Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	257.07	258.81	253.83	256.04	254.88
Carga Rotura (kN)	95.85	94.33	103.07	118.25	122.2
Carga Rotura (kg)	9774.02	9619.02	10510.25	12058.19	12460.98
Resistencia Bruta (kg/cm <sup>2</sup> )	38.02	37.17	41.41	47.09	48.89
Resistencia de Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00
Porcentaje obtenido (%)	69.10%	67.60%	75.30%	85.60%	88.90%

*Nota:* Desarrollo del ensayo de resistencia a la compresión por unidad con el 5% de cenizas de capulí

Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

La Tabla 18 revela los valores de resistencia a la compresión para ladrillos ecológicos con un 5% de ceniza de capulí, mostrando resultados para cinco

unidades específicas: 38.02, 37.17, 41.41, 47.09, y 48.89 kg/cm<sup>2</sup>. El promedio de resistencia a la compresión para estas muestras es de 42.5 kg/cm<sup>2</sup>, cifra que no alcanza los estándares establecidos por la normativa correspondiente.

Tabla 19. *Derivaciones del experimento de resistencia a la compresión por unidad de ladrillos ecológicos con 10% de inclusión de ceniza de capulí*

Identificación	MC-01 (10%)	MC-21 (10%)	MC-03 (10%)	MC-04 (10%)	MC-05 (10%)
Largo (mm)	213.57	214.22	213.28	211.48	213.84
Ancho (mm)	119.77	120.54	119.31	118.24	120.42
Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	255.79	258.22	254.45	250.05	257.5
Carga Rotura (kN)	140.9	121.01	140.51	105.39	131.53
Carga Rotura (kg)	14367.85	12339.63	14328.09	10746.83	13412.38
Resistencia Bruta (kg/cm <sup>2</sup> )	56.17	47.79	56.31	42.98	52.09
Resistencia de Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00
Porcentaje obtenido (%)	102.10%	86.90%	102.40%	78.10%	94.70%

*Nota:* Desarrollo del ensayo de resistencia a la compresión por unidad con el 10% de cenizas de capulí.

Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

La Tabla 19 muestra los resultados de la resistencia a la compresión de ladrillos ecológicos que contienen un 10% de ceniza de capulí. En cinco unidades de medidas, las resistencias brutas fueron de 56,17 kg/cm<sup>2</sup>, 47,79 kg/cm<sup>2</sup>, 56,31 kg/cm<sup>2</sup>, 42,98 kg/cm<sup>2</sup> y 52,09 kg/cm<sup>2</sup>. El promedio de resistencia de estas unidades resultó ser 51,10 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual está en conformidad con los estándares normativos establecidos.

Tabla 20. *Hallazgos del análisis de resistencia a la compresión individual de ladrillos ecológicos con una adición del 15% de ceniza de capulí.*

Identificación	MC-01 (15%)	MC-21 (15%)	MC-03 (15%)	MC-04 (15%)	MC-05 (15%)
Largo (mm)	211.42	212.02	214.87	215.36	214.89
Ancho (mm)	118.15	118.08	120.63	121.98	121.42
Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	249.79	250.35	259.20	262.70	260.92
Carga Rotura (kN)	125.46	125.08	143.52	173.96	133.92
Carga Rotura (kg)	12793.36	12754.61	14635.02	17739.05	13652.04
Resistencia Bruta (kg/cm <sup>2</sup> )	51.22	50.95	56.46	67.53	52.32
Resistencia de Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00
Porcentaje obtenido (%)	90.20%	99.90%	112.94%	135.06%	104.64%

*Nota:* Desarrollo del ensayo de resistencia a la compresión por unidad con el 15% de cenizas de capulí.

Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

En la Tabla 20, se puede notar que la resistencia a la compresión por unidad de ladrillos ecológicos con un contenido de ceniza de capulí del 15% presenta valores de resistencia bruta en cinco unidades, que son 49.6 kg/cm<sup>2</sup>, 43.62 kg/cm<sup>2</sup>, 44,84 kg/cm<sup>2</sup>, 38,20 kg/cm<sup>2</sup> y 39,70 kg/cm<sup>2</sup>. El promedio de estas resistencias es de 43.19 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual no se encuentra dentro de los límites establecidos por la normativa.

Tabla 21. *Categorización de los ladrillos ecológicos de acuerdo con las especificaciones de la norma técnica peruana E.070.*

Porcentaje de Cenizas de capulí	f'b(kg/cm <sup>2</sup> )	Clasificación según NTP E.070
0%	42.36	No cumple
5%	42.52	No cumple
10%	51.07	I
15%	55.69	I

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 21, se puede apreciar con los valores obtenidos, se clasifica como ladrillo de tipo I, los que cumplen con la NTP E.070.

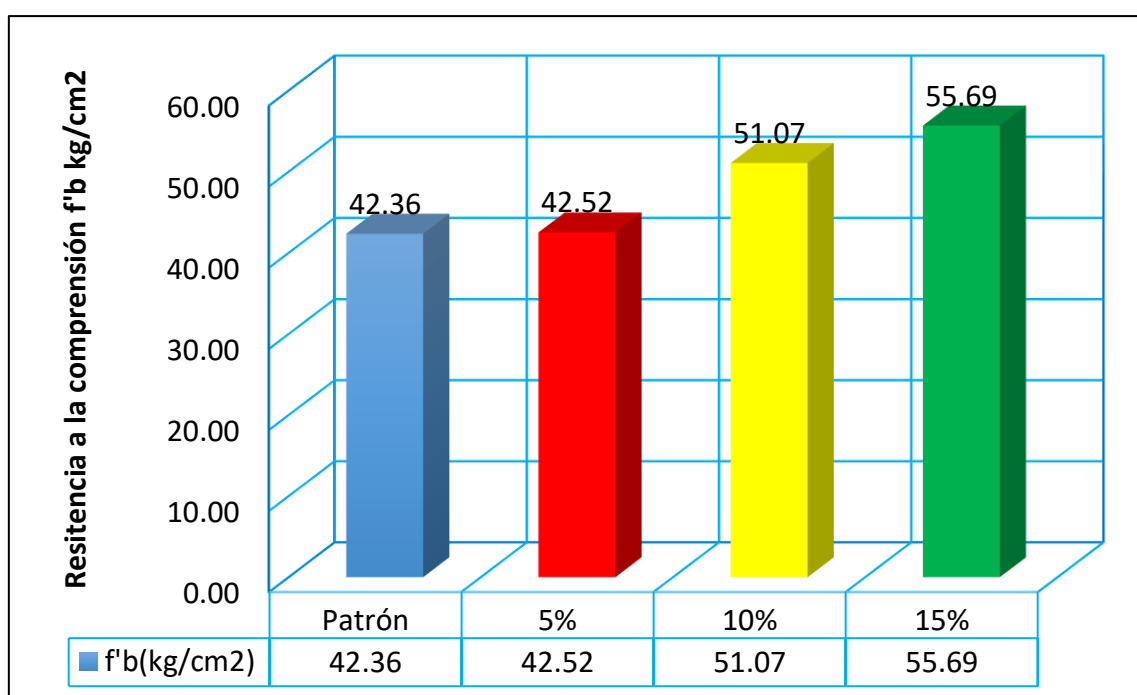


Figura 4. Resultados obtenidos del análisis de resistencia a la compresión de unidades con diferentes porcentajes de cenizas de capulí (0%, 5%, 10%, 15%).

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia en la Figura 4, que los ladrillos con el 0%, 5%, 10% y 15% de cenizas de capulí los dos últimos ensayos presentaron mejor resistencia a la compresión cumpliendo con la NTP E.70.

**Prueba de resistencia a la compresión axial o compresión de prismas de albañilería.**

Tabla 22. Hallazgos del análisis de resistencia a la compresión axial de ladrillos ecológicos sin adición de ceniza de capulí.

Identificación	P-01 (0%)	P-02 (0%)	P-03(0%)
Ancho $t_p$ (mm)	121.96	122.28	121.47
Alto $h_p$ (mm)	259.04	256.98	256.70
Longitud (mm)	214.62	212.66	211.12
Área (cm <sup>2</sup> )	261.75	260.04	256.45
Carga máxima(N)	128239.00	123320.00	120420.00
Carga máxima (kgf)	13076.84	12575.14	12279.42
Relación $h_p/t_p$	2.12	2.10	2.11
$f'm$ (kPa)	3675.00	3607.00	3452.00
$f'm$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	<b>37.47</b>	<b>36.27</b>	<b>35.91</b>
$f'm$ Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	35.00	35.00	35.00
F.C. según $h_p/t_p$	0.75	0.75	0.75
$f_{mt}$ (kPa)	4899.00	4809.00	4665.00
$f_{mt}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	49.96	48.36	47.88
Porcentaje obtenido (%)	107,06%	105.09%	100.57%
$f'm$ promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	36.55		
Desviación estandar	0.82		
$f'm$ característica (kg/cm <sup>2</sup> )	35.73		

*Nota:* Procedimiento del ensayo de resistencia a la compresión de prismas sin adición de cenizas de capulí.

Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

En la Tabla 22, la resistencia a la compresión axial en pilas del 0%, es en promedio de 36,55kg/cm<sup>2</sup>, una desviación estándar de 0,82 y una resistencia a la compresión característica de 35,73 kg/cm<sup>2</sup>, cumpliendo así con lo establecido en la normatividad.

Tabla 23. Derivaciones del experimento de resistencia a la compresión axial de ladrillos ecológicos con 5%.de inclusión de ceniza de capulí

Identificación	P-01 (5%)	P-02 (5%)	P-03 (5%)
Ancho $t_p$ (mm)	121.38	122.10	119.50
Alto $h_p$ (mm)	256.74	262.15	256.90
Longitud (mm)	212.64	212.60	214.80
Área (cm <sup>2</sup> )	258.10	259.58	256.69
Carga máxima(N)	124050.00	129930.00	126400.00
Carga máxima (kgf)	12649.58	13249.17	12889.21
Relación $h_p/t_p$	2.12	2.15	2.15
$f'm$ (kPa)	3605.00	3754.00	3644.00
$f'm$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	<b>36.76</b>	<b>38.28</b>	<b>37.66</b>
$f'm$ Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	35.00	35.00	35.00
F.C. según $h_p/t_p$	0.75	0.75	0.75
$f_{mt}$ (kPa)	4806.00	5005.00	4924.00
$f_{mt}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	49.01	51.04	50.21
Porcentaje obtenido (%)	105,03%	109.37%	106.17%
$f'm$ promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	37.57		
Desviación estandar	0.77		
$f'm$ característica (kg/cm <sup>2</sup> )	36.80		

Nota: Proceso de realización del ensayo de resistencia a la compresión de prismas utilizando una muestra sin adición de cenizas de capulí.

Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

La Tabla 23 indica que, para pilas con un 5% de composición, la resistencia promedio a la compresión axial es de 37,57 kg/cm<sup>2</sup>, con una variabilidad (desviación estándar) de 0,77 kg/cm<sup>2</sup> y una resistencia característica a la compresión de 36,80 kg/cm<sup>2</sup>. Estos valores están en conformidad con los requisitos establecidos por la normativa actual.

Tabla 24. Resultados obtenidos del análisis de resistencia a la compresión axial de ladrillos ecológicos con la inclusión del 10% de ceniza de capulí.

Identificación	P-01 (10%)	P-02 (10%)	P-03 (10%)
Ancho $t_p$ (mm)	120.20	120.40	121.70
Alto $h_p$ (mm)	262.45	261.34	259.78
Longitud (mm)	213.70	214.40	215.50
Área (cm <sup>2</sup> )	256.87	258.14	262.26
Carga máxima(N)	130560.00	133090.00	128270.00
Carga máxima (kgf)	13313.41	13571.40	13079.90
Relación $h_p/t_p$	2.18	2.17	2.13
$f'm$ (kPa)	3863.00	3867.00	3668.00
$f'm$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	<b>39.39</b>	<b>39.43</b>	<b>37.40</b>
$f'm$ Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	35.00	35.00	35.00
F.C. según $h_p/t_p$	0.76	0.75	0.75
$f_{mt}$ (kPa)	5083.00	5055.00	4891.00
$f_{mt}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	51.83	52.57	49.87
Porcentaje obtenido (%)	112.54%	112.66%	106.86%
$f'm$ promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	38.74		
Desviación estandar	1.16		
$f'm$ característica (kg/cm <sup>2</sup> )	37.58		

Nota: Desarrollo del ensayo de resistencia a la compresión de prismas con el 10%, cenizas de capulí.

Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

La Tabla 24 muestra que las pilas con un 10% de composición ofrecen una resistencia media a la compresión axial de 38,74 kg/cm<sup>2</sup>, con una variabilidad de 1,16 kg/cm<sup>2</sup> en sus mediciones y una resistencia característica de 37,58 kg/cm<sup>2</sup>. Estos resultados se ajustan a los estándares requeridos por las normativas aplicables.

Tabla 25. Derivaciones del experimento de resistencia a la compresión axial de ladrillos ecológicos con 15%.de adición de ceniza de capulí

Identificación	P-01 (15%)	P-02(15%)	P-03 (15%)
Ancho $t_p$ (mm)	122.10	121.80	121.40
Alto $h_p$ (mm)	259.28	256.45	258.82
Longitud (mm)	212.60	213.20	212.50
Área (cm <sup>2</sup> )	259.58	259.68	257.98
Carga máxima(N)	138360.00	141610.00	142500.00
Carga máxima (kgf)	14108.79	14440.20	14530.96
Relación $h_p/t_p$	2.12	2.11	2.13
$f'_m$ (kPa)	3997.00	4090.00	4143.00
$f'_m$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	<b>40.76</b>	<b>41.71</b>	<b>42.25</b>
$f'_m$ Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	35.00	35.00	35.00
F.C. según $h_p/t_p$	0.75	0.75	0.75
$f_{mt}$ (kPa)	5330.00	5453.00	5524.00
$f_{mt}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	54.35	55.61	56.33
Porcentaje obtenido (%)	118.03%	119.17%	120.71%
$f'_m$ promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	41.57		
Desviación estandar	0.75		
$f'_m$ característica (kg/cm <sup>2</sup> )	40.82		

Nota: Desarrollo del ensayo de resistencia a la compresión de prismas con el 15%, cenizas de capulí.

Fuente: Laboratorio GRUPO VITAC SAC Cajamarca.

La Tabla 25 indica que las pilas con un 15% de composición presentan una resistencia promedio a la compresión axial de 41,57 kg/cm<sup>2</sup>, con una baja variabilidad de 0,75 kg/cm<sup>2</sup> y una resistencia característica a la compresión de 37,58 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual satisface los requisitos de las normativas actuales.

Tabla 26. Clasificación de los ladrillos ecológicos según la norma técnica peruana E.070

Porcentaje de cenizas de capulí	$f'_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Clasificación de acuerdo con la NTP E.070
Porcentaje de 0% cenizas de capulí	36.55	Si cumple
Porcentaje de 5% cenizas de capulí	36.80	Si cumple
Porcentaje de 10% cenizas de capulí	37.58	Si cumple
Porcentaje de 15% cenizas de capulí	40.82	Si cumple

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 26, se puede apreciar con los valores obtenidos, cumplen con la NTP E.070.

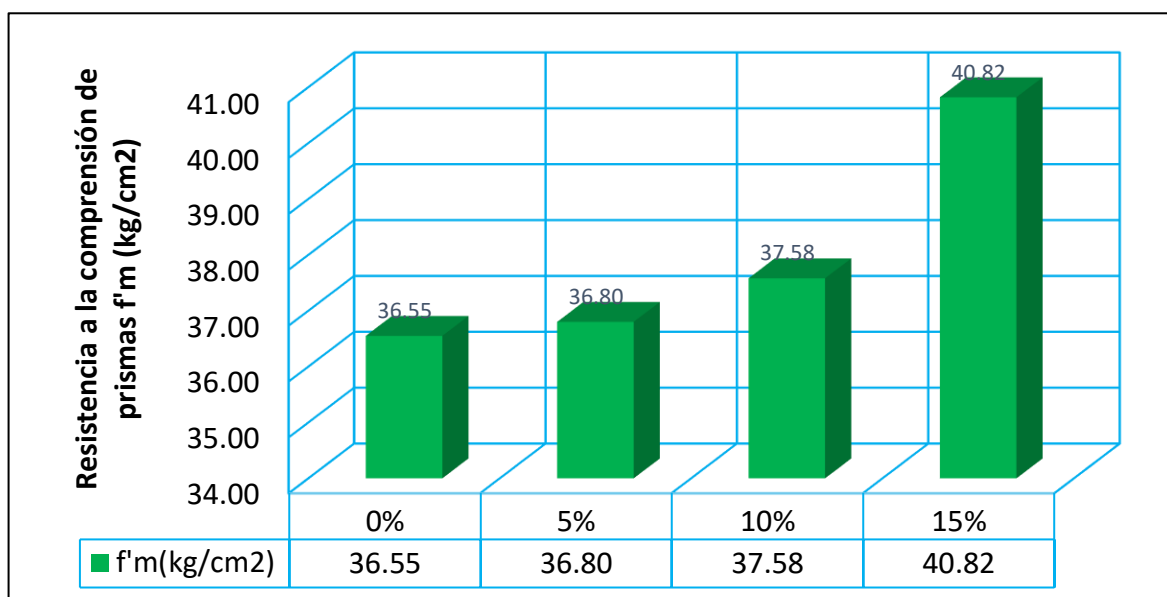


Figura 5. Resultados de los ensayos de compresión axial de unidades con 0%, 5%, 10%, 15% Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Figura 5 se observa que la compresión axial en pilas con 0%, 5%, 10% y 15% de cenizas de capulí, presentan una buena resistencia axial, en consecuencia, cumplen con la NTP E.70, siendo aptos para ser usados como muros de albañilería

## 4.2. Análisis inferencial

### 4.2.1. Variación dimensional de ladrillos ecológicos con adición de cenizas de capulí

La variación dimensional de ladrillos se refiere a las diferencias en las dimensiones (largo, ancho, y altura) entre ladrillos individuales de un mismo tipo o lote.

#### 4.2.1.1. Indicador: Largo

##### a) Prueba normalidad de los resultados del ensayo de variabilidad dimensional en el indicador "Largo".

#### Formulación de la hipótesis

Hipótesis nula ( $H_0$ ): La muestra se ajusta a una distribución normal.

Hipótesis alternativa ( $H_a$ ): La muestra no se ajusta a una distribución normal.



## Nivel de confianza

Las dimensiones longitudinales obtenidas al añadir ceniza de capulí en proporciones de 0%, 5%, 10% y 15% determinan la credibilidad de los hallazgos en función del valor de significancia alcanzado. Cuando este valor es menor a 0.05, la hipótesis formulada por el investigador es aceptada.

Confianza: 95%

Significancia (alfa) o error: 5%

## Prueba estadística por emplear

Para analizar si los datos recabados en la investigación de variabilidad dimensional, particularmente en lo que respecta a la dimensión “Largo”, seguían una distribución normal, se aplicó la prueba estadístico Shapiro-Wilk. Esta elección se debió a que el conjunto de datos recolectados contaba con menos de 50 muestras.

Tabla 27. *Evaluación de la distribución normal en el análisis de variabilidad dimensional en la dimensión de “Largo” con incorporación de cenizas de capulí*

Dimensión	Pruebas de normalidad						
	Porcentaje de cenizas de capulí	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Largo	0%	,256	5	,200*	,955	5	,775
	5%	,235	5	,200*	,945	5	,701
	10%	,308	5	,138	,836	5	,154
	15%	,179	5	,200*	,962	5	,823

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.

## Criterio de decisión

Si el valor de p es menor o igual a  $\alpha$ , se desestima la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa.

Si el valor de p es superior a  $\alpha$ , se sostiene la hipótesis nula y se descarta la hipótesis alternativa.

## Decisión y conclusión

Se encontró que, en todas las mezclas con distintos porcentajes de cenizas de capulí, el valor p superó el umbral de significancia de 0.05, lo que indica que los datos de cada dosificación siguen una distribución normal, dado que en todas las instancias el valor p fue mayor a 0.05. Por consiguiente, se concluyó que era apropiado utilizar un enfoque paramétrico para el análisis de los datos. Para este propósito específico, se optó por la prueba t de Student para llevar a cabo la evaluación estadística.

### b) Prueba hipótesis de los resultados del ensayo de variabilidad dimensional en el indicador "Largo"

**Hipótesis Nula (Ho):** La inclusión de cenizas de capulí en distintas proporciones no influye de manera significativa en la variación dimensional para la dimensión "largo" de ladrillos ecológicos.

**Hipótesis Alternativa (Ha):** La inclusión de cenizas de capulí en distintas proporciones influye de manera significativa en la variación dimensional para la dimensión "Largo" de ladrillos ecológicos.

### Nivel de significancia

Confianza: 95%

Significancia (alfa) o error : 5

### Prueba estadística por emplear

Paramétrica:

Prueba T de Student para una sola muestra

Tabla 28. Prueba T de Student de la prueba de variación dimensional para la dimensión "Largo" de ladrillos ecológicos con adiciones de ceniza de capulí

Prueba para una muestra						
	Valor de prueba = 214					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Largo	-2,334	19	,031	-,64500	-1,2233	-,0667

Fuente: Elaboración propia.

### **Criterio de decisión**

Si el valor p es menor o igual a  $\alpha$ , se descarta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Por otro lado, si el valor p supera a  $\alpha$ , se mantiene la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

### **Decisión**

El valor p obtenido es de 0.031, lo cual es menor al umbral de significancia de 0.05. Esto indica que hay evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ), lo que lleva a aceptar la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Este resultado respalda la teoría de que incorporar cenizas de capulí en distintas proporciones tiene un impacto significativo en la variabilidad de la dimensión "Largo" en los ladrillos ecológicos.

### **Conclusión**

La adición de cenizas de capulí en diferentes proporciones repercute en las propiedades físicas como la variabilidad dimensional en la dimensión "Largo"

#### **4.2.1.2. Indicador: Ancho**

##### **a) Prueba normalidad de los resultados del ensayo de variabilidad dimensional en el indicador "Ancho"**

#### **Formulación de la hipótesis**

Hipótesis nula ( $H_0$ ): La muestra se ajusta a una distribución normal.

Hipótesis alternativa ( $H_a$ ): La muestra no se ajusta a una distribución normal.

#### **Nivel de confianza**

Las dimensiones longitudinales obtenidas al añadir ceniza de capulí en proporciones de 0%, 5%, 10% y 15% determinan la credibilidad de los hallazgos en función del valor de significancia alcanzado. Cuando este valor es menor a 0.05, la hipótesis formulada por el investigador es aceptada.

Confianza: 95%

Significancia (alfa) o error: 5%

## Prueba estadística por emplear

Para analizar si los datos recabados en la investigación de variabilidad dimensional, particularmente en lo que respecta a la dimensión “Ancho”, seguían una distribución normal, se aplicó la prueba estadístico Shapiro-Wilk. Esta elección se debió a que el conjunto de datos recolectados contaba con menos de 50 muestras.

Tabla 29. *Evaluación de la distribución normal en el análisis de variabilidad dimensional en la dimensión de “Ancho” con incorporación de cenizas de capulí*

Dimensión	Pruebas de normalidad						
	Porcentaje de cenizas de capulí	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ancho	0%	,195	5	,200*	,950	5	,740
	5%	,165	5	,200*	,987	5	,970
	10%	,191	5	,200*	,911	5	,476
	15%	,291	5	,194	,893	5	,372

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.

## Criterio de decisión

Si el valor de  $p$  es menor o igual a  $\alpha$ , se desestima la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa.

Si el valor de  $p$  es superior a  $\alpha$ , se sostiene la hipótesis nula y se descarta la hipótesis alternativa.

## Decisión y conclusión

Se encontró que, en todas las mezclas con distintos porcentajes de cenizas de capulí, el valor  $p$  superó el umbral de significancia de 0.05, lo que indica que los datos de cada dosificación siguen una distribución normal, dado que en todas las instancias el valor  $p$  fue mayor a 0.05. Por consiguiente, se concluyó que era apropiado utilizar un enfoque paramétrico para el análisis de los datos. Para este propósito específico, se optó por la prueba  $t$  de Student para llevar a cabo la evaluación estadística.

## b) Prueba de hipótesis de los resultados del ensayo de variabilidad dimensional en el indicador "Ancho"

**Hipótesis Nula (H<sub>0</sub>):** La inclusión de cenizas de capulí en distintas proporciones no influye de manera significativa en la variación dimensional para la dimensión "Ancho" de ladrillos ecológicos.

**Hipótesis Alternativa (H<sub>a</sub>):** La inclusión de cenizas de capulí en distintas proporciones influye de manera significativa en la variación dimensional para la dimensión "Ancho" de ladrillos ecológicos.

### Nivel de significancia

Confianza: 95%

Significancia (alfa) o error : 5

### Prueba estadística por emplear

Paramétrica:

Prueba T de Student para una sola muestra

Tabla 30. *Prueba T de Student del ensayo de variación dimensional para la dimensión "Ancho" de ladrillos ecológicos con adiciones de ceniza de capulí*

Prueba para una muestra						
	Valor de prueba = 120					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Ancho	-2,507	19	,021	-9,94000	-18,2373	-1,6427

Fuente: Elaboración propia.

### Criterio de decisión

Si el valor p es menor o igual a  $\alpha$ , se descarta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Por otro lado, si el valor p supera a  $\alpha$ , se mantiene la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

### Decisión

Con un valor p de 0.021, que es menor que el umbral de significancia de 0.05, se tiene fundamento estadístico suficiente para rechazar la hipótesis nula (H<sub>0</sub>). Así, se

acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Este resultado corrobora la teoría de que añadir cenizas de capulí en diversas proporciones incide de manera significativa en la variabilidad del ancho de los ladrillos ecológicos.

## **Conclusión**

La adición de cenizas de capulí en diferentes proporciones repercute en las propiedades físicas como la variabilidad dimensional en la dimensión "Ancho"

### **4.2.1.3. Indicador: Alto**

#### **a) Prueba normalidad de los resultados del ensayo de variabilidad dimensional en el indicador "Alto"**

##### **Formulación de la hipótesis**

Hipótesis nula ( $H_0$ ): La muestra se ajusta a una distribución normal.

Hipótesis alternativa ( $H_a$ ): La muestra no se ajusta a una distribución normal.

##### **Nivel de confianza**

Las dimensiones longitudinales obtenidas al añadir ceniza de capulí en proporciones de 0%, 5%, 10% y 15% determinan la credibilidad de los hallazgos en función del valor de significancia alcanzado. Cuando este valor es menor a 0.05, la hipótesis formulada por el investigador es aceptada.

Confianza: 95%

Significancia (alfa) o error: 5%

##### **Prueba estadística por emplear**

Para analizar si los datos recabados en la investigación de variabilidad dimensional, particularmente en lo que respecta a la dimensión "Alto", seguían una distribución normal, se aplicó la prueba estadístico Shapiro-Wilk. Esta elección se debió a que el conjunto de datos recolectados contaba con menos de 50 muestras.

Tabla 31. *Evaluación de la distribución normal en el análisis de variabilidad dimensional en la dimensión de “Alto” con incorporación de cenizas de capulí*

Dimensión	Pruebas de normalidad						
	Porcentaje de cenizas de capulí	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Alto	0%	,165	5	,200*	,987	5	,970
	5%	,364	5	,029	,753	5	,062
	10%	,230	5	,200*	,898	5	,400
	15%	,216	5	,200*	,885	5	,332

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.

### **Criterio de decisión**

Si el valor de  $p$  es menor o igual a  $\alpha$ , se desestima la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa.

Si el valor de  $p$  es superior a  $\alpha$ , se sostiene la hipótesis nula y se descarta la hipótesis alternativa.

### **Decisión y conclusión**

Se encontró que, en todas las mezclas con distintos porcentajes de cenizas de capulí, el valor  $p$  superó el umbral de significancia de 0.05, lo que indica que los datos de cada dosificación siguen una distribución normal, dado que en todas las instancias el valor  $p$  fue mayor a 0.05. Por consiguiente, se concluyó que era apropiado utilizar un enfoque paramétrico para el análisis de los datos. Para este propósito específico, se optó por la prueba  $t$  de Student para llevar a cabo la evaluación estadística.

**b) Prueba de hipótesis de los resultados del ensayo de variabilidad dimensional en el indicador "Alto"**

**Hipótesis Nula (Ho):** La inclusión de cenizas de capulí en distintas proporciones no influye de manera significativa en la variación dimensional para la dimensión "Alto" de ladrillos ecológicos.

**Hipótesis Alternativa (Ha):** La inclusión de cenizas de capulí en distintas proporciones influye de manera significativa en la variación dimensional para la dimensión "Alto" de ladrillos ecológicos.

**Nivel de significancia**

Confianza: 95%

Significancia (alfa) o error: 5

**Prueba estadística por emplear**

Paramétrica:

Prueba T de Student para una sola muestra

Tabla 32. *Prueba T de Student del ensayo de variación dimensional para la dimensión "Alto" de ladrillos ecológicos con adiciones de ceniza de capulí*

<b>Prueba para una muestra</b>						
Valor de prueba = 81						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Alto	-4,133	19	,001	-1,56000	-2,3499	-,7701

Fuente: Elaboración propia

**Criterio de decisión**

Si el valor p es menor o igual a  $\alpha$ , se descarta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Por otro lado, si el valor p supera a  $\alpha$ , se mantiene la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.



## **Decisión**

El valor  $p$  de 0.001, siendo inferior al límite de significancia de 0.05, proporciona evidencia contundente para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ). Esto nos lleva a aceptar la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Este resultado confirma significativamente que la inclusión de cenizas de capulí en proporciones variables tiene un efecto notable en la variabilidad del ancho de los ladrillos ecológicos.

## **Conclusión**

La adición de cenizas de capulí en diferentes proporciones repercute en las propiedades físicas como la variabilidad dimensional en la dimensión "Alto"

### **4.2.2. Indicador: Alabeo de ladrillos ecológicos con adición de cenizas de capulí**

#### **a) Prueba normalidad de los resultados del ensayo de alabeo.**

##### **Formulación de la hipótesis**

Hipótesis nula ( $H_0$ ): La muestra se ajusta a una distribución normal.

Hipótesis alternativa ( $H_a$ ): La muestra no se ajusta a una distribución normal.

##### **Nivel de confianza**

Las dimensiones longitudinales obtenidas al añadir ceniza de capulí en proporciones de 0%, 5%, 10% y 15% determinan la credibilidad de los hallazgos en función del valor de significancia alcanzado. Cuando este valor es menor a 0.05, la hipótesis formulada por el investigador es aceptada.

Confianza: 95%

Significancia (alfa) o error: 5%

##### **Prueba estadística por emplear**

Para analizar si los datos recabados en la investigación del ensayo de alabeo, seguían una distribución normal, se aplicó la prueba estadístico Shapiro-Wilk. Esta elección se debió a que el conjunto de datos recolectados contaba con menos de 50 muestras.

Tabla 33. *Evaluación de la distribución normal en los resultados del ensayo de alabeo con incorporación de cenizas de capulí*

Dimensión	Pruebas de normalidad						
	Porcentaje de cenizas de capulí	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Alabeo	0%	,275	5	,200*	,817	5	,111
	5%	,269	5	,200*	,902	5	,423
	10%	,254	5	,200*	,939	5	,660
	15%	,235	5	,200*	,846	5	,181

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.

### **Criterio de decisión**

Si el valor de  $p$  es menor o igual a  $\alpha$ , se desestima la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa.

Si el valor de  $p$  es superior a  $\alpha$ , se sostiene la hipótesis nula y se descarta la hipótesis alternativa.

### **Decisión y conclusión**

Se encontró que, en todas las mezclas con distintos porcentajes de cenizas de capulí, el valor  $p$  superó el umbral de significancia de 0.05, lo que indica que los datos de cada dosificación siguen una distribución normal, dado que en todas las instancias el valor  $p$  fue mayor a 0.05. Por consiguiente, se concluyó que era apropiado utilizar un enfoque paramétrico para el análisis de los datos. Para este propósito específico, se optó por la prueba  $t$  de Student para llevar a cabo la evaluación estadística.

### **b) Prueba de hipótesis de los resultados del ensayo de alabeo en ladrillos ecológicos con adiciones de cenizas**

**Hipótesis Nula (H<sub>0</sub>):** La inclusión de cenizas de capulí en distintas proporciones no influye de manera significativa en el de alabeo de ladrillos ecológicos.

**Hipótesis Alternativa (H<sub>a</sub>):** La inclusión de cenizas de capulí en distintas proporciones influye de manera significativa en el de alabeo de ladrillos ecológicos.

## Nivel de significancia

Confianza: 95%

Significancia (alfa) o error: 5

## Prueba estadística por emplear

Paramétrica:

Prueba T de Student para una sola muestra

Tabla 34. *Prueba T de Student del ensayo de alabeo de ladrillos ecológicos con adiciones de ceniza de capulí*

Prueba para una muestra						
	Valor de prueba = 81					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Alabeo	2,618	19	,017	,35310	,0708	,6354

Fuente: Elaboración propia.

## Criterio de decisión

Si el valor p es menor o igual a  $\alpha$ , se descarta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Por otro lado, si el valor p supera a  $\alpha$ , se mantiene la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

## Decisión

Con un valor p de 0.017, que es menor que el criterio de significancia de 0.05, existe justificación estadística para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por tanto, se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Este resultado apoya la teoría de que integrar cenizas de capulí en variadas proporciones influye de manera significativa en el alabeo de los ladrillos ecológicos.

## Conclusión

La adición de cenizas de capulí en diferentes proporciones repercute en las propiedades físicas como el alabeo en ladrillos ecológicos

### 4.2.3. Indicador: Absorción de ladrillos ecológicos con adición de cenizas de capulí

#### a) Prueba normalidad de los resultados del ensayo de absorción.

##### Formulación de la hipótesis

Hipótesis nula (Ho): La muestra se ajusta a una distribución normal.

Hipótesis alternativa (Ha): La muestra no se ajusta a una distribución normal.

##### Nivel de confianza

Las dimensiones longitudinales obtenidas al añadir ceniza de capulí en proporciones de 0%, 5%, 10% y 15% determinan la credibilidad de los hallazgos en función del valor de significancia alcanzado. Cuando este valor es menor a 0.05, la hipótesis formulada por el investigador es aceptada.

Confianza: 95%

Significancia (alfa) o error: 5%

##### Prueba estadística por emplear

Para analizar si los datos recabados en la investigación de absorción, seguían una distribución normal, se aplicó la prueba estadístico Shapiro-Wilk. Esta elección se debió a que el conjunto de datos recolectados contaba con menos de 50 muestras.

Tabla 35. *Evaluación de la distribución normal en los resultados del ensayo de absorción con incorporación de cenizas de capulí*

Dimensión	Pruebas de normalidad						
	Porcentaje de cenizas de capulí	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Absorción	0%	,183	5	,200*	,909	5	,464
	5%	,143	5	,200*	,993	5	,990
	10%	,274	5	,200*	,835	5	,151
	15%	,188	5	,200*	,957	5	,788

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.

### **Criterio de decisión**

Si el valor de  $p$  es menor o igual a  $\alpha$ , se desestima la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa.

Si el valor de  $p$  es superior a  $\alpha$ , se sostiene la hipótesis nula y se descarta la hipótesis alternativa.

### **Decisión y conclusión**

Se descubrió que el valor  $p$  en todas las formulaciones con diferentes cantidades de cenizas de capulí excedió el límite de significancia de 0.05. Esto sugiere que los datos para cada concentración de cenizas se ajustan a una distribución normal, ya que el valor  $p$  resultó ser mayor a 0.05 en todos los casos examinados. En base a esto, se determinó que era adecuado aplicar métodos de análisis paramétricos para los datos. Con este fin, se seleccionó la prueba  $t$  de Student como el método estadístico para realizar la evaluación.

### **b) Prueba de hipótesis de los resultados del ensayo de absorción en ladrillos ecológicos con adiciones de cenizas**

**Hipótesis Nula ( $H_0$ ):** La inclusión de cenizas de capulí en distintas proporciones no influye de manera significativa en el de absorción de ladrillos ecológicos.

**Hipótesis Alternativa ( $H_a$ ):** La inclusión de cenizas de capulí en distintas proporciones influye de manera significativa en el de absorción de ladrillos ecológicos.

### **Nivel de significancia**

Confianza: 95%

Significancia (alfa) o error: 5

### **Prueba estadística por emplear**

Paramétrica:

Prueba  $T$  de Student para una sola muestra

Tabla 36. Prueba T de Student del ensayo de absorción de ladrillos ecológicos con adiciones de ceniza de capulí

<b>Prueba para una muestra</b>						
Valor de prueba = 21						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Absorción	2,803	19	,011	2,01800	,5109	3,5251

Fuente: Elaboración propia.

### **Criterio de decisión**

Si el valor p es menor o igual a  $\alpha$ , se descarta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Por otro lado, si el valor p supera a  $\alpha$ , se mantiene la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

### **Decisión**

El valor p registrado de 0.011 es inferior al nivel de significancia establecido en 0.05, lo que indica que hay suficientes pruebas estadísticas para descartar la hipótesis nula ( $H_0$ ). En consecuencia, se procede a aceptar la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Este hallazgo apoya la idea de que la adición de cenizas de capulí en variadas cantidades afecta de manera notable la capacidad de absorción de agua en los ladrillos ecológicos.

### **Conclusión**

La adición de cenizas de capulí en diferentes proporciones repercute en las propiedades físicas como la absorción ecológicos

#### **4.2.4. Indicador: Resistencia a la comprensión de unidades de ladrillos ecológicos con adición de cenizas de capulí**

##### **a) Prueba normalidad de los resultados del ensayo de resistencia a la comprensión de unidades**

#### **Formulación de la hipótesis**

Hipótesis nula ( $H_0$ ): La muestra se ajusta a una distribución normal.

Hipótesis alternativa ( $H_a$ ): La muestra no se ajusta a una distribución normal.

## Nivel de confianza

Las dimensiones longitudinales obtenidas al añadir ceniza de capulí en proporciones de 0%, 5%, 10% y 15% determinan la credibilidad de los hallazgos en función del valor de significancia alcanzado. Cuando este valor es menor a 0.05, la hipótesis formulada por el investigador es aceptada.

Confianza: 95%

Significancia (alfa) o error: 5%

## Prueba estadística por emplear

Para analizar si los datos recabados en la investigación de resistencia a la comprensión seguían una distribución normal, se aplicó la prueba estadístico Shapiro-Wilk. Esta elección se debió a que el conjunto de datos recolectados contaba con menos de 50 muestras.

Tabla 37. *Evaluación de la distribución normal en los resultados del ensayo de resistencia a la comprensión con incorporación de cenizas de capulí*

Dimensión	Pruebas de normalidad						
	Porcentaje de cenizas de capulí	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la comprensión de unidades	0%	,252	5	,200*	,880	5	,312
	5%	,207	5	,200*	,893	5	,370
	10%	,214	5	,200*	,906	5	,444
	15%	,272	5	,200*	,785	5	,061

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.

## Fuente: Elaboración propia

### Criterio de decisión

Cuando el valor p es menor o igual a  $\alpha$ , rechazamos la hipótesis nula a favor de aceptar la hipótesis alternativa.

Por otro lado, si el valor de p es mayor que  $\alpha$ , mantenemos la hipótesis nula y rechazamos la hipótesis alternativa.

### Decisión y conclusión

Se encontró que, en todas las mezclas con distintos porcentajes de cenizas de capulí, el valor p superó el umbral de significancia de 0.05, lo que indica que los

datos de cada dosificación siguen una distribución normal, dado que en todas las instancias el valor p fue mayor a 0.05. Por consiguiente, se concluyó que era apropiado utilizar un enfoque paramétrico para el análisis de los datos. Para este propósito específico, se optó por la prueba t de Student para llevar a cabo la evaluación estadística.

**b) Prueba de hipótesis de los resultados del ensayo de resistencia a la comprensión en ladrillos ecológicos con adiciones de cenizas**

**Hipótesis Nula (Ho):** La inclusión de cenizas de capulí en proporciones de 5%, 10% y 15% no influye de manera significativa en el de resistencia a la comprensión de unidades de ladrillos ecológicos.

**Hipótesis Alternativa (Ha):** La inclusión de cenizas de capulí en de 5%, 10% y 15% influye de manera significativa en el de resistencia a la comprensión de unidades de ladrillos ecológicos.

**Nivel de significancia**

Confianza: 95%

Significancia (alfa) o error: 5

**Prueba estadística por emplear**

Paramétrica:

Prueba T de Student para una sola muestra

Tabla 38. *Prueba T de Student del ensayo de resistencia a la comprensión de ladrillos ecológicos con adiciones de ceniza de capulí*

Prueba de muestras emparejadas								
Porcentaje de cenizas de capulí	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
5%GCE- 0% GC	,156	8,24303	3,68640	-10,07908	10,39108	,042	4	,968
10%GE - 0% GC	8,708	3,91462	1,75067	3,84736	13,56864	4,974	4	,008
15%GE - 0%GC	13,408	9,38108	4,19535	1,75985	25,05615	3,196	4	,033

Fuente: Elaboración propia.



### **Criterio de decisión**

Si el valor  $p$  es menor o igual a  $\alpha$ , se descarta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Por otro lado, si el valor  $p$  supera a  $\alpha$ , se mantiene la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

### **Decisión**

Con un 5% de inclusión de cenizas, la diferencia en promedios es de 0.156, lo que no se considera significativo estadísticamente, ya que el valor  $p$  obtenido es de 0.968, excediendo así el umbral de significancia de 0.05. Esto indica que no hay suficiente base estadística para desechar la hipótesis nula ( $H_0$ ), por lo que se rechaza la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Dicho resultado sugiere que añadir un 5% de cenizas de capulí no tiene un efecto considerable en la resistencia a la compresión de los ladrillos ecológicos.

Con la adición del 10% de cenizas, se notó una diferencia de medias de 8,708, que resulta ser significativa debido a que el valor  $p$  es de 0,008, situándose por debajo del nivel de significancia de 0.05 ( $\alpha \leq 0.05$ ). Esto proporciona fundamentos sólidos para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Dicho resultado confirma la teoría de que integrar un 10% de cenizas de capulí incrementa de manera notable la resistencia a la compresión de los ladrillos ecológicos.

Con la incorporación del 15% de cenizas, se registró una diferencia de medias de 13,418, la cual es estadísticamente significativa dado que el valor  $p$  es de 0,033, situándose por debajo del umbral de significancia de 0.05 ( $\alpha \leq 0.05$ ). Esto provee una base sólida para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ), llevando a la aceptación de la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Este resultado corrobora la teoría de que añadir un 15% de cenizas de capulí incrementa de forma notable la resistencia a la compresión de los ladrillos ecológicos.

### **Conclusión**

Incorporar cenizas de capulí en concentraciones del 10% y 15% potencia las características mecánicas, incluyendo la resistencia a la compresión de los ladrillos ecológicos.

#### 4.2.5. Indicador: Resistencia a la comprensión axial de pilas o comprensión de prismas de ladrillos ecológicos con adición de cenizas de capulí

##### c) Prueba normalidad de los resultados del ensayo de resistencia a la comprensión de prismas de ladrillos ecológicos

##### Formulación de la hipótesis

Hipótesis nula (Ho): La muestra se ajusta a una distribución normal.

Hipótesis alternativa (Ha): La muestra no se ajusta a una distribución normal.

##### Nivel de confianza

Las dimensiones longitudinales obtenidas al añadir ceniza de capulí en proporciones de 0%, 5%, 10% y 15% determinan la credibilidad de los hallazgos en función del valor de significancia alcanzado. Cuando este valor es menor a 0.05, la hipótesis formulada por el investigador es aceptada.

Confianza: 95%

Significancia (alfa) o error: 5%

##### Prueba estadística por emplear

Para analizar si los datos recabados en la investigación de resistencia a la comprensión de prismas de albañilería seguían una distribución normal, se aplicó la prueba estadístico Shapiro-Wilk. Esta elección se debió a que el conjunto de datos recolectados contaba con menos de 50 muestras.

Tabla 39. *Evaluación de la distribución normal en los resultados del ensayo de resistencia a la comprensión de prismas con incorporación de cenizas de capulí*

Dimensión	Pruebas de normalidad						
	Porcentaje de cenizas de capulí	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la comprensión de prismas	0%	,304	3	.	,908	3	,411
	5%	,215	3	.	,989	3	,798
	10%	,379	3	.	,765	3	,063
	15%	,239	3	.	,975	3	,699

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.

### **Criterio de decisión**

Si el valor de  $p$  es menor o igual a  $\alpha$ , se desestima la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa.

Si el valor de  $p$  es superior a  $\alpha$ , se sostiene la hipótesis nula y se descarta la hipótesis alternativa.

### **Decisión y conclusión**

Se encontró que, en todas las mezclas con distintos porcentajes de cenizas de capulí, el valor  $p$  superó el umbral de significancia de 0.05, lo que indica que los datos de cada dosificación siguen una distribución normal, dado que el valor  $p$  fue mayor a 0.05. Por consiguiente, se concluyó que era apropiado utilizar un enfoque paramétrico para el análisis de los datos. Para este propósito específico, se optó por la prueba  $t$  de Student para llevar a cabo la evaluación estadística.

#### **d) Prueba de hipótesis de los resultados del ensayo de resistencia a la comprensión de prismas en ladrillos ecológicos con adiciones de cenizas**

**Hipótesis Nula ( $H_0$ ):** La inclusión de cenizas de capulí en proporciones de 5%, 10% y 15% no influye de manera significativa en el de resistencia a la comprensión de prismas de ladrillos ecológicos.

**Hipótesis Alternativa ( $H_a$ ):** La inclusión de cenizas de capulí en de 5%, 10% y 15% influye de manera significativa en el de resistencia a la comprensión de prismas de ladrillos ecológicos.

### **Nivel de significancia**

Confianza: 95%

Significancia (alfa) o error: 5

### **Prueba estadística por emplear**

Paramétrica:

Prueba  $T$  de Student para una sola muestra

Tabla 40. *Prueba  $T$  de Student del ensayo de resistencia a la comprensión de prismas de ladrillos ecológicos con adiciones de ceniza de capulí*

### **Prueba de muestras emparejadas**

Porcentaje de cenizas de capulí	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
5%GCE- 0% GC	1,0200	1,50429	,86850	-2,71687	4,75687	1,174	2	,361
10%GE - 0% GC	2,1933	,87272	,50386	,02539	4,36128	4,353	2	,049
15%GE - 0%GC	5,0266	1,56845	,90554	1,13042	8,92291	5,551	2	,031

Fuente: Elaboración propia.

### Criterio de decisión

Si el valor p es menor o igual a  $\alpha$ , se descarta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Por otro lado, si el valor p supera a  $\alpha$ , se mantiene la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

### Decisión

Respecto al 5% de adición de cenizas, se observa la diferencia de medias 1,0200 lo cual no es significativa y el p valor es igual a 0,365, y este es superior al nivel de significancia establecido de 0.05 ( $\alpha \leq 0.05$ ), entonces no hay bases suficientes para descartar la hipótesis nula ( $H_0$ ). En consecuencia, se procede a rechazar la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Este hallazgo valida la teoría de que la adición de cenizas de capulí en la proporción del 5% no afecta significativamente la resistencia a la comprensión en prismas en los ladrillos ecológicos.

Respecto al 10% de adición de cenizas, se observa la diferencia de medias 2,1933 lo cual es significativa y el p valor es igual a 0,049, y este es inferior al nivel de significancia establecido de 0.05 ( $\alpha \leq 0.05$ ), entonces hay bases suficientes para descartar la hipótesis nula ( $H_0$ ). En consecuencia, se procede a aceptar la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Este hallazgo valida la teoría de que la adición de cenizas de capulí en la proporción del 10% mejora significativamente la resistencia a la comprensión de prismas en los ladrillos ecológicos.

Respecto al 15% de adición de cenizas, se observa la diferencia de medias 5,0266 lo cual es significativa y el p valor es igual a 0,031, y este es inferior al nivel de significancia establecido de 0.05 ( $\alpha \leq 0.05$ ), entonces hay bases suficientes para

descartar la hipótesis nula ( $H_0$ ). En consecuencia, se procede a aceptar la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Este hallazgo valida la teoría de que la adición de cenizas de capulí en la proporción del 15% mejora significativamente la resistencia a la compresión de prismas en los ladrillos ecológicos.

### **Conclusión**

La adición de cenizas de capulí en proporciones de, 10%, 15% repercute en las propiedades físicas como la resistencia a la compresión de prismas de ladrillos ecológicos.

## V. DISCUSIÓN

**Objetivo específico 1:** Determinar la influencia de adición de cenizas de Capulí en las propiedades físicas de los ladrillos ecológicos, Cajamarca, 2023.

### Variación dimensional

Para Sandoval y Huamán (2021) indican que al agregar cenizas de cáscaras de café en porcentaje 5%, 10% y 15% presenta los siguientes resultados de variación dimensional, respecto al 5% en largo 0.42%, ancho 1.41%, alto 0.4%; al 10% largo 0.68%, ancho 0.67% y alto 0.5% y al 15% largo 0.90%, ancho 0.82% y alto 0.68%, respecto a la muestra patron se observa que el largo aumenta, el ancho disminuye y el largo aumenta.

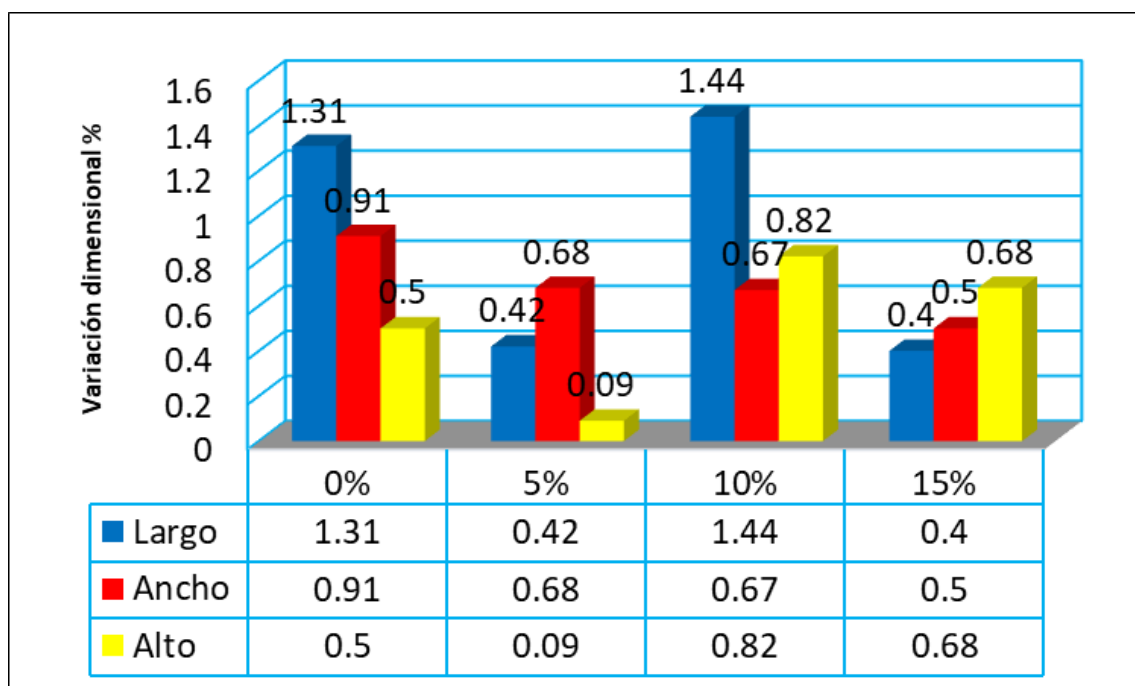


Figura 6. Derivaciones del ensayo variación dimensional en largo, ancho y alto con adición de cáscaras de café

Fuente: Elaboración propia.

En la presente investigación la variación dimensional al adicionar cenizas de capulí resulta: al 5% en largo 3.20%, ancho, 3.80% y alto 3.90; al 10% en largo 3.10, ancho 4.30 y alto -0.40; al 15% en largo 3.50, ancho 3.90 y alto -0,50. Respecto a la muestra patrón se observa que el largo aumenta, el ancho disminuye y el alto aumenta.

Para Sandoval y Huamán (2021) la variación dimensional cumple con la norma E.070, en la investigación presentada al ser corroborado cumple también con lo especificado en la norma E.70, existiendo coincidencias en los resultados.

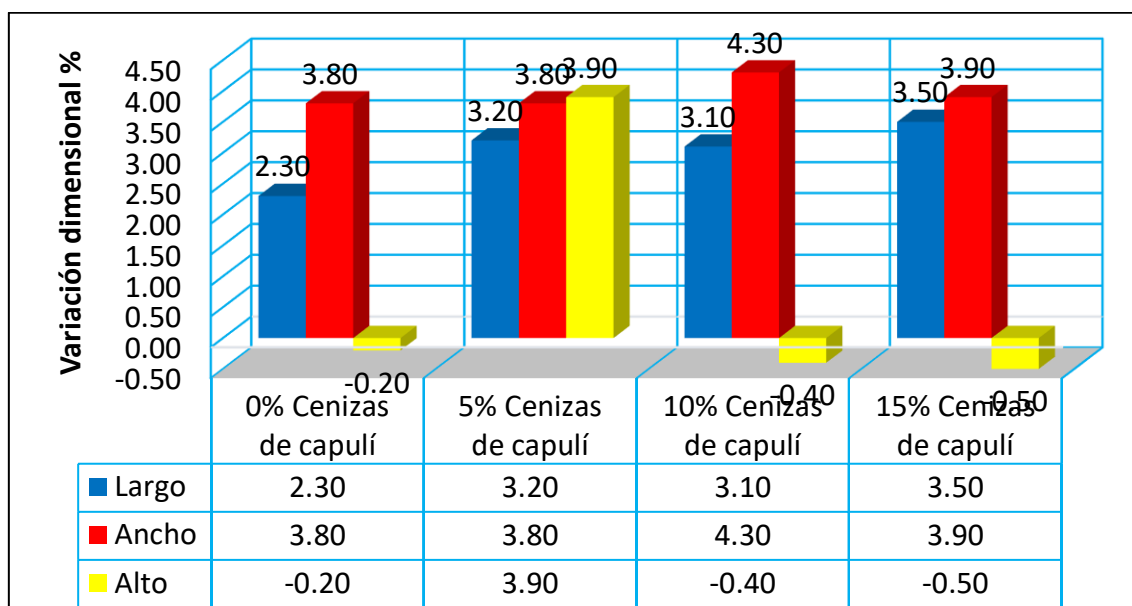


Figura 7. Variación dimensional en largo, ancho y alto con adición de cenizas de capulí.  
Fuente: Elaboración propia.

### Alabeo

Para Bendezú (2019) el alabeo promedio que tuvieron los ladrillos ecológicos al aplicar ceniza de bagazo de caña de azúcar en porcentajes de 5%, 10% y 15% son los siguientes: al 5% concavidad 0.5%, convexidad 1.05%; al 10% concavidad 0.5%, convexidad 0.25%; al 15% concavidad 0.6% y convexidad 0.55%. Respecto a la muestra patrón en la concavidad 5% y 10% se mantiene no varía y al 15% aumenta; respecto a la muestra patrón en la convexidad al 5% aumenta y al 10% y 15% disminuye.

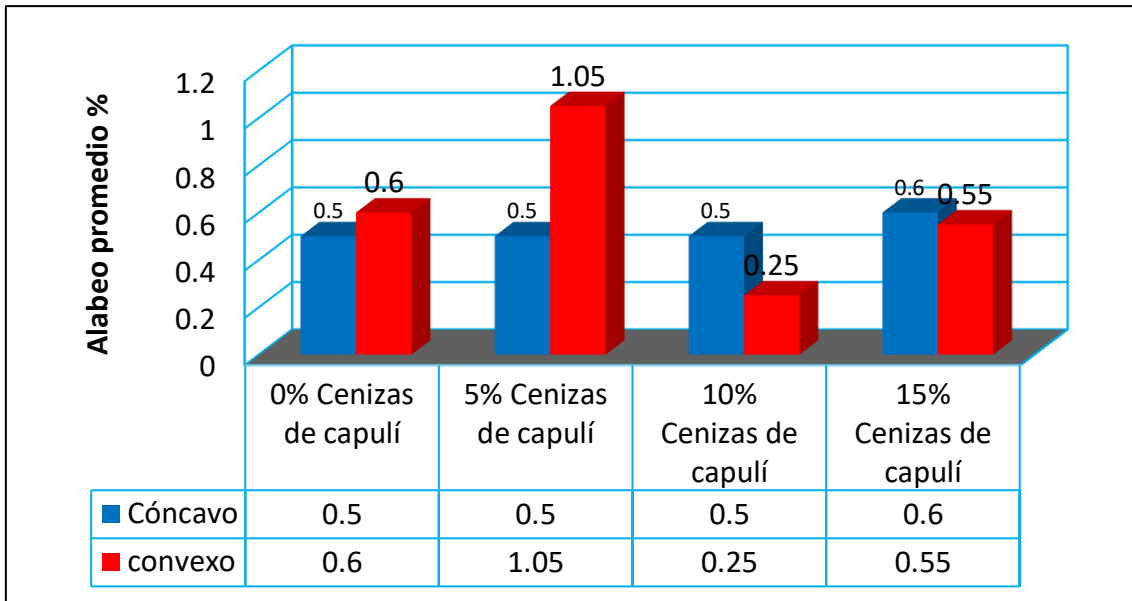


Figura 8. Alabeo de ladrillos con adición de cenizas de bagazo de caña de azúcar.

Fuente: Elaboración propia.

En la presente investigación el alabeo promedio que presentaron los ladrillos ecológicos con adición de cenizas de capulí en porcentajes del 5%, 10% y 15% fueron los siguientes: al 5% concavidad 0.69%, convexidad 2.09%; al 10% concavidad 0.84%, convexidad 0.88%; al 15% concavidad 0.85% y convexidad 0.105%. Respecto a la muestra patrón en la concavidad 5% disminuye al 10% y 15% aumenta; respecto a la muestra patrón en la convexidad al 5% aumenta y al 10% y 15% disminuye.

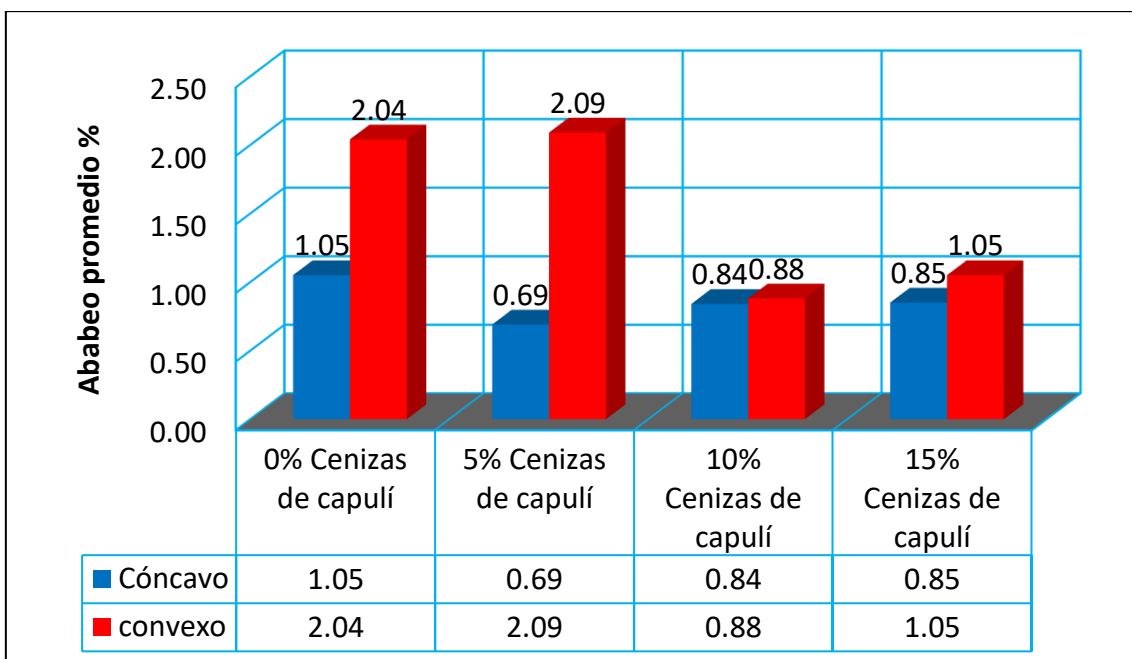


Figura 9. Alabeo de ladrillos con adición de cenizas de capulí

Fuente: Elaboración propia.



Teniendo en cuenta a Bendezú (2019) el albeo cumple con la norma E.070, en la investigación presentada al ser corroborado cumple también con lo especificado en la norma E.70, existiendo coincidencias en los resultados.

### Absorción

Como lo hace notar Vilca (2021) la absorción promedio que tuvieron los ladrillos ecológicos al aplicar ceniza de totora en porcentajes de 5%, 10% y 15% se concretizan en los siguientes porcentajes: al 5% 20.84%; al 10% 18.93; al 15% 22.29. Respecto a la muestra patrón al 5% y 10% baja el porcentaje, al 15% aumenta.

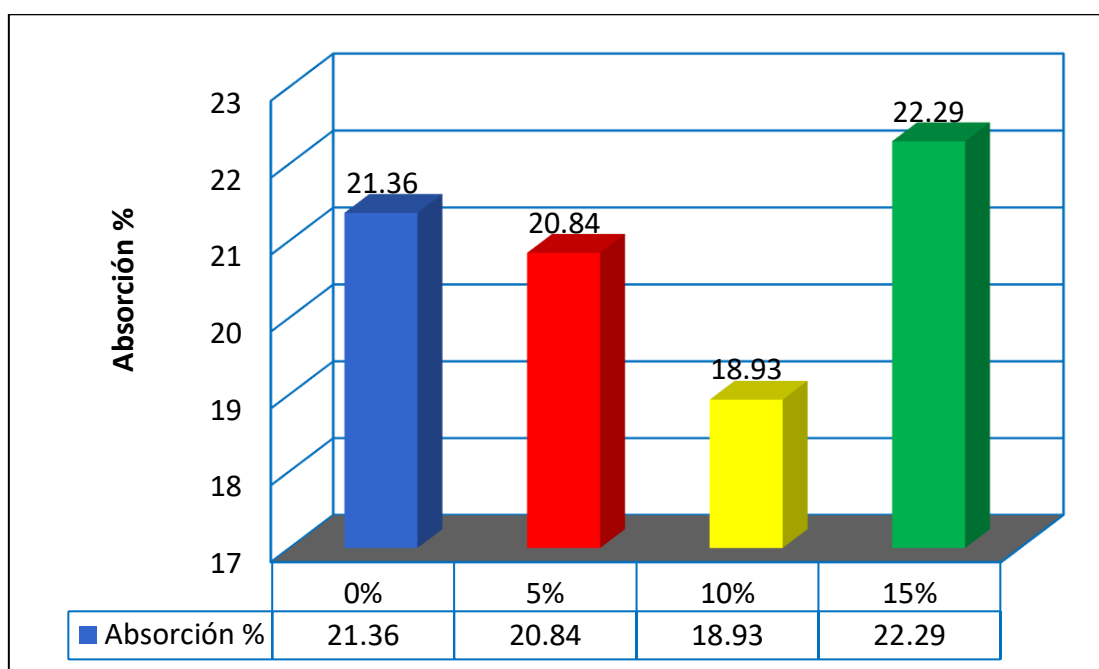


Figura 10. Porcentaje de absorción con cenizas de totora  
Fuente: Elaboración propia.

En la presente investigación la absorción promedio que presentaron los ladrillos ecológicos con adición de cenizas de capulí en porcentajes del 5%, 10% y 15% fueron los siguientes: al 5% 21.51%; al 10% 24,43%; al 15% 21,92. Respecto a la muestra patrón al 5% y 10% aumenta y al 15% disminuye.

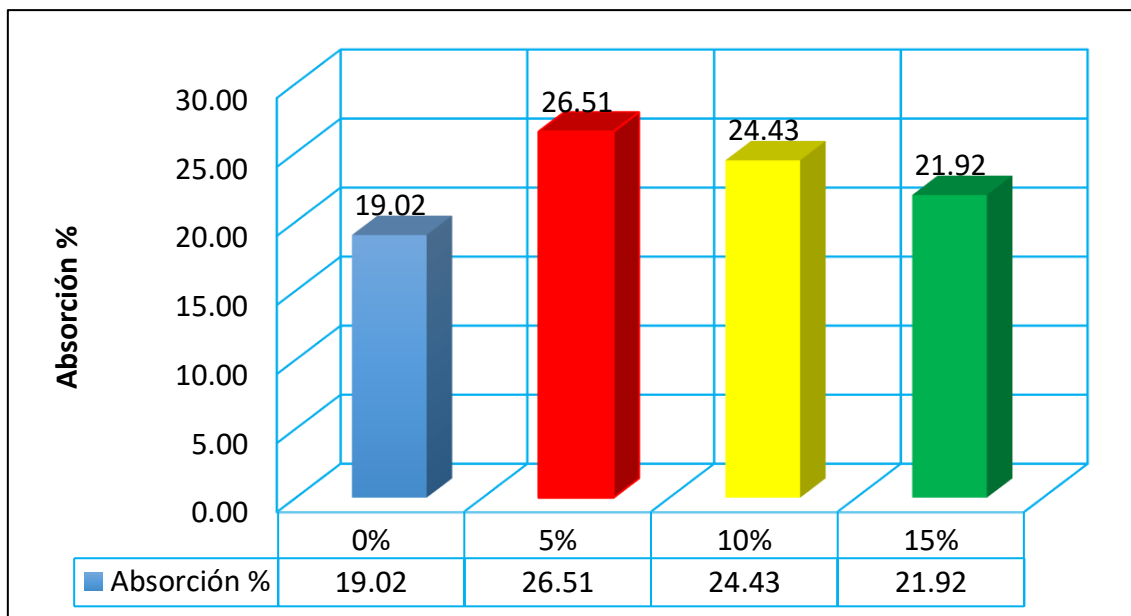


Figura 11. Porcentaje de absorción con cenizas de capulí  
Fuente: Elaboración propia.

Dicho con palabras de Vilca (2021) la absorción cumple con la norma E.070 al 5% y 10% y al 15% no cumple, en la investigación presentada al ser corroborado cumple también con lo especificado en la norma E.70 al 15% y al 5 y 10% no cumple, existiendo discrepancias en los resultados.

**Objetivo específico 2.** Determinar la influencia de adición de cenizas de Capulí en las propiedades mecánicas en ladrillos ecológicos, Cajamarca, 2023.

### Resistencia a la compresión por unidad.

Desde la posición de Blanco (2022) la Resistencia a la compresión por unidad promedio que tuvieron los ladrillos ecológicos al adicionar aserrín de pino en porcentajes de 10%, 15% y 20% se concretizan en los siguientes resultados: al 10% 74.29kg/cm<sup>2</sup> al 15% 92.27kg/cm<sup>2</sup>; al 20% 61.22kg/cm<sup>2</sup>. Respecto a la muestra patrón al 10% y 15% aumenta la resistencia a la compresión por unidad, al 20% baja.

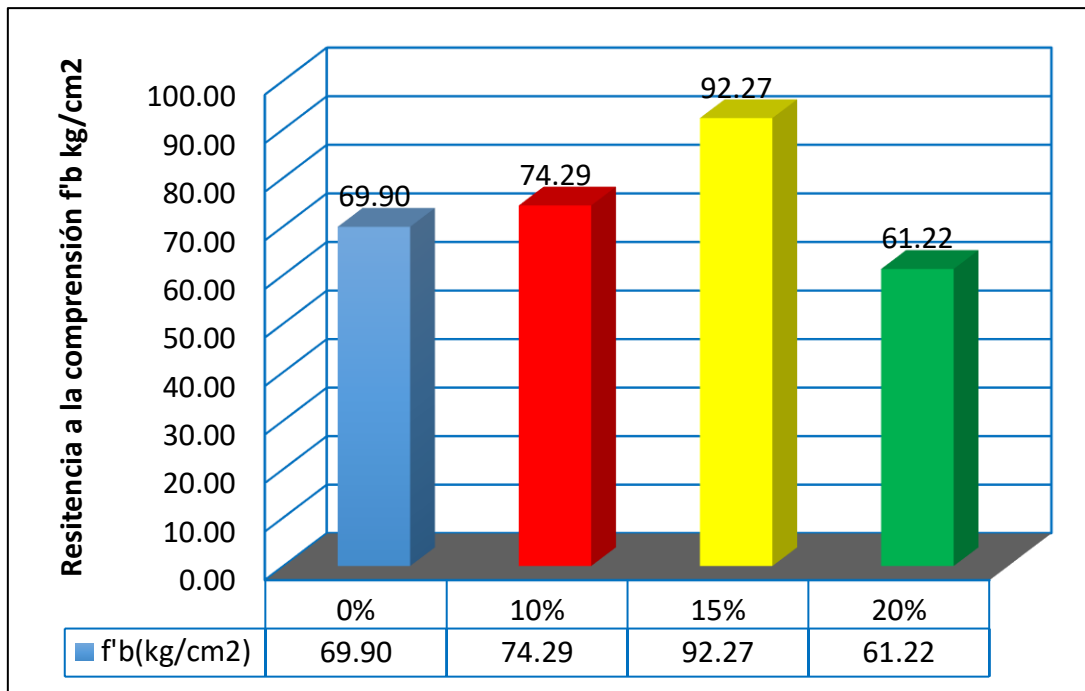


Figura 12. Resistencia a la compresión por unidad al adicionar aserrín de pino.  
Fuente: Elaboración propia.

En la presente investigación la resistencia a la compresión por unidad promedio que tuvieron los ladrillos ecológicos al adicionar cenizas de capulí en porcentajes de 5%, 10% y 15% se concretizan en los siguientes resultados: al 5% 42.52kg/cm<sup>2</sup> al 10% 51.07kg/cm<sup>2</sup>; al 15% 55.69kg/cm<sup>2</sup>. Respecto a la muestra patrón se infiere y puede observar que al 5%, 10% y 15% aumenta la resistencia a la compresión por unidad, al 20% baja.

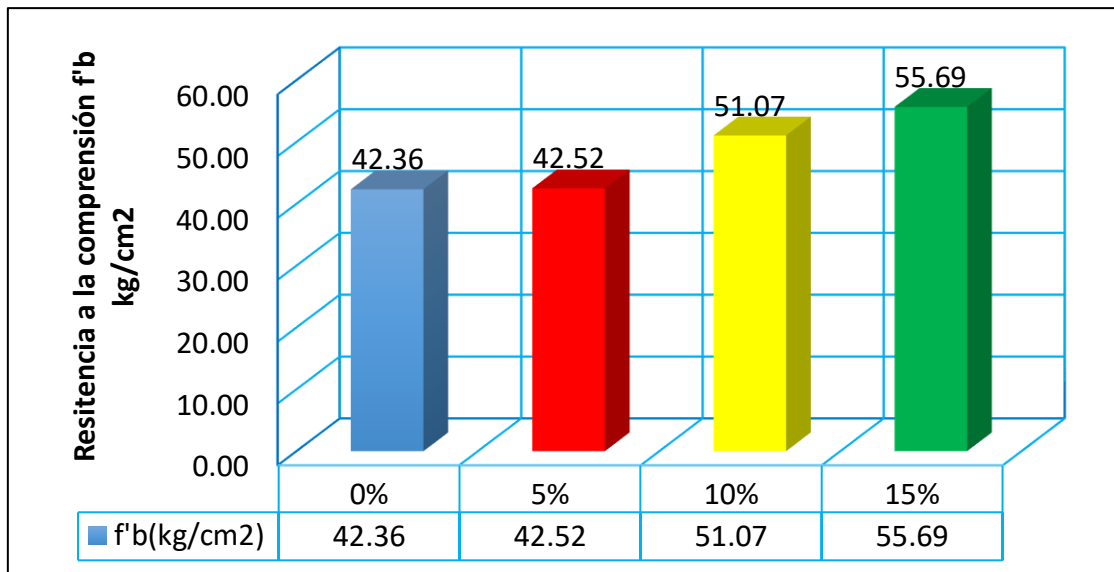


Figura 13. Resistencia a la compresión por unidad al adicionar cenizas de capulí.  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con Blanco (2022) la resistencia a la compresión por unidad promedio cumple con la norma E.070 en todos los porcentajes, en la investigación presentada al ser corroborado cumple también con lo especificado en la norma E.70 al 10% y al 15% y 5% no cumple, existiendo coincidencias en los resultados.

### Resistencia a la compresión axial en pilas

Como expresa Gutiérrez (2022) la Resistencia a la compresión en pilas que tuvieron los ladrillos ecológicos al adicionar cenizas de fondo en porcentajes de 10%, 20% y 30% se concretizan en los siguientes resultados: al 10% 34.71kg/cm<sup>2</sup> al 20% 36.22kg/cm<sup>2</sup>; al 30% 42.20kg/cm<sup>2</sup>. Respecto a la muestra patrón al 10% ,20% y 30% aumenta la resistencia a la compresión en pilas.

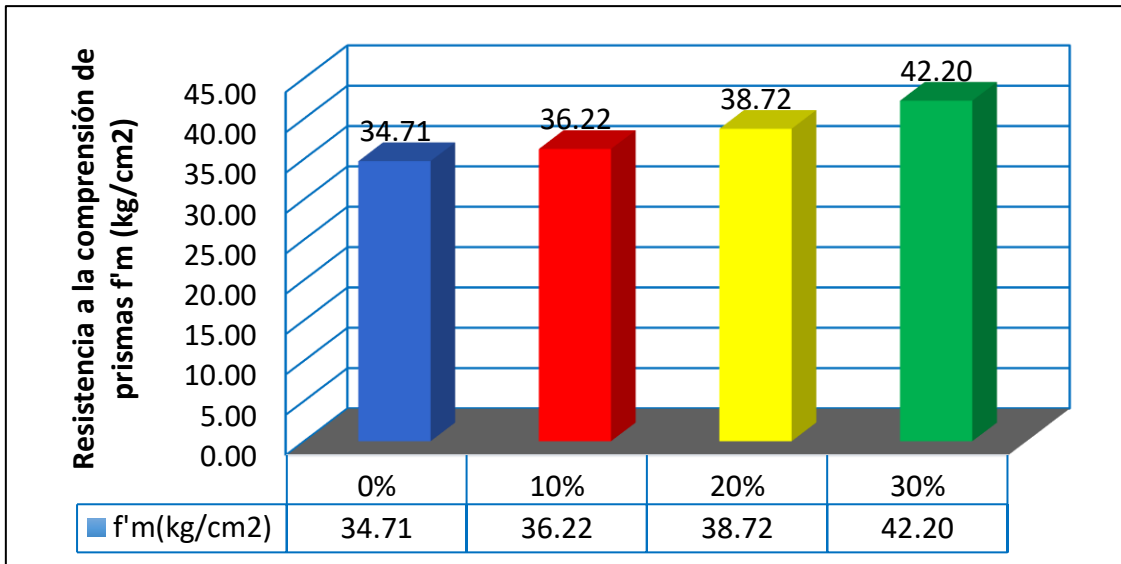


Figura 14. Derivaciones de la resistencia a la compresión en pilas al adicionar cenizas de fondo.  
Fuente: Elaboración propia.

En la presente indagación la resistencia a la compresión en pilas promedio que tuvieron los ladrillos ecológicos al adicionar cenizas de capulí en porcentajes de 5%, 10% y 15% se concretizan en los siguientes resultados: al 5% 36.80kg/cm<sup>2</sup> al 10% 37.58kg/cm<sup>2</sup>; al 15% 40.82kg/cm<sup>2</sup>. Respecto a la muestra patrón se infiere y puede observar que al 5%, 10% y 15% aumenta la resistencia a la compresión por en pilas.

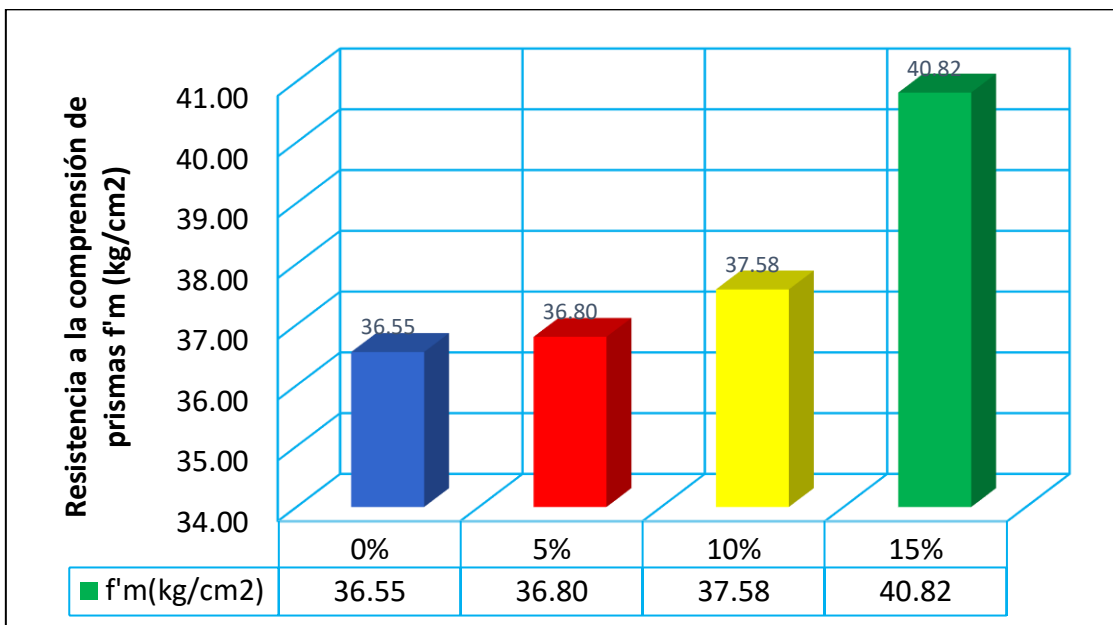


Figura 15. Derivaciones de la resistencia a la compresión en pilas al adicionar cenizas de capulí.  
Fuente: Elaboración propia.

Como lo hace notar Gutiérrez (2022) la resistencia a la compresión en pilas promedio cumple con la norma E.070 en todos los porcentajes, en la investigación presentada al ser corroborado cumple también con lo especificado en la norma E.70 al 5%, 10% y al 15% y 5%, existiendo similitudes en los resultados.

### **Determinar la influencia de la dosificación de la adición de cenizas de Capulí en las propiedades físico-mecánicas de ladrillos ecológicos, Cajamarca, 2023**

Según Blanco (2023), el estudio sobre la influencia de las cenizas de ichu en las propiedades físicas de materiales reveló que el 10% en peso es la proporción más favorable para mejorar las dimensiones (largo, ancho y alto) y reducir el alabeo, así como para optimizar la absorción de agua en las muestras analizadas. En términos de las propiedades mecánicas, se determinó que una adición del 15% en peso de cenizas de ichu es la más conveniente para aumentar la resistencia a la compresión tanto en unidades individuales como en conjuntos de pilas.

En la presente investigación la dosificación de cenizas de capulí en las propiedades físicas se encontró que en la **variación dimensional** el porcentaje promedio más adecuado corresponde al 10% en peso para las dimensiones de largo y alto, para el ancho corresponde a la dosificación del 5%; en el **alabeo** respecto a las muestras con adición de cenizas de capulí, la dosificación más óptima es al 10% en peso; para la **absorción** la dosificación más adecuada de cenizas de capulí es al 15%. En lo que se refiere a las propiedades mecánicas, para la **resistencia a la compresión en unidades** las muestras de adiciones de capulí, la dosificación más adecuada es al 10% y con relación a la **resistencia a la compresión en pilas** la dosificación más adecuada es al 15%.

Como lo hace notar Blanco (2022) las dosificaciones más adecuadas cumple con la norma E.070 en todos los porcentajes, en la investigación presentada al ser corroborado cumple también con lo especificado en la norma E.70 al 5%, 10% y al 15%, existiendo similitudes en los resultados.

## VI. CONCLUSIONES

**Se determinó el impacto de incorporar cenizas de capulí en las características físicas de ladrillos ecológicos.**

**Variación dimensional:** a proporción óptima de cenizas de capulí resultó ser del 10%, con variaciones de 3.80% en ancho, 3.10% en largo, y alto 0.40%, ajustándose a las especificaciones de la NTP E.70. Esta dosificación clasifica a los ladrillos desde tipo I hasta tipo II

Los valores p obtenidos fueron de 0.031, 0.21 y 0.01 para las dimensiones de largo, ancho y alto respectivamente, siendo todos menores al umbral de significancia de 0.05. Esto llevó al rechazo de la hipótesis nula ( $H_0$ ) y a la aceptación de la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Estos resultados confirman la teoría de que la inclusión de cenizas de capulí en diversas proporciones influye significativamente en las variaciones de las dimensiones de largo, ancho y alto de los ladrillos ecológicos.

**Alabeo:** Se encontró que la proporción óptima de cenizas de capulí es del 10%, con una concavidad de 0.84 mm y una convexidad de 0.88 mm, lo que se ajusta a los requisitos de la NTP E.70. Esto posiciona a los ladrillos en una clasificación desde el tipo I hasta el tipo V. Con un valor p de 0.017, menor que el límite de significancia de 0.05, se justificó el rechazo de la hipótesis nula ( $H_0$ ) a favor de aceptar la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Este resultado apoya la teoría de que la inclusión de cenizas de capulí en proporciones variadas tiene un impacto notable en el alabeo de los ladrillos ecológicos.

**Absorción:** La proporción óptima de cenizas de capulí identificada es del 15%, la cual resulta en una tasa de absorción del 21.92%, estando en conformidad con los estándares definidos por la NTP E.70. Esta composición clasifica a los ladrillos

desde el tipo I hasta el tipo V. Este hallazgo es particularmente interesante ya que destaca el potencial de las cenizas de capulí no solo para mejorar las propiedades ecológicas de los ladrillos sino también para cumplir con normativas técnicas rigurosas, abriendo así nuevas vías para la producción de materiales de construcción que mejoren eficazmente las demandas de rendimiento.

El valor p registrado es de 0.011, y este es inferior al nivel de significancia establecido de 0.05, entonces se descarta la hipótesis nula ( $H_0$ ), en consecuencia, se procede a aceptar la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Este hallazgo permite afirmar que hay variaciones demostrativas con adición de cenizas de capulí en diferentes proporciones y influye significativamente en la absorción de los ladrillos ecológicos.

**Se determinó el efecto de incorporar cenizas de capulí sobre las características mecánicas de ladrillos ecológicos.**

**Resistencia a la compresión en unidades.** Se encontró que el 15% de cenizas de capulí es la proporción más beneficiosa, alcanzando una resistencia de 55.69 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual se ajusta a las especificaciones de la NTP E.70 y clasifica a estos ladrillos como tipo I.

Con un 15% de adición de cenizas, la diferencia significativa en las medias es de 13.418, y con un valor p de 0.033, inferior al umbral de significancia de 0.05, se tienen fundamentos sólidos para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ), corroborando que incorporar un 15% de cenizas de capulí incrementa de manera significativa la resistencia a la compresión de los ladrillos ecológicos.

**Resistencia a la compresión en prismas.** La adición óptima de cenizas de capulí se determinó en el 15%, logrando una resistencia de 40.82 kg/cm<sup>2</sup>. Esto cumple con los requisitos de la NTP E.70, clasificando a estos ladrillos como tipo I.



Con un incremento del 15% en cenizas, la diferencia notable de medias es de 5.0266, y con un valor p de 0.031, que es menor al límite de significancia de 0.05, se cuenta con la justificación estadística necesaria para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por ende, se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ), verificando que la incorporación de un 15% de cenizas de capulí tiene un impacto considerable en la mejora de la resistencia a la compresión de los prismas de ladrillos ecológicos.

Se determina que el ladrillo ecológico satisface las normativas técnicas esenciales, estableciéndose así como una opción fiable para la construcción. Esto es atribuible a la inclusión de cenizas de capulí, que mejora significativamente las cualidades físicas y mecánicas del material. Además, se enfatiza la recomendación de emplear ladrillos ecológicos, los cuales incorporan cenizas de desechos de madera de capulí, contribuyendo a una solución tanto sostenible como ecológica.

.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Se aconseja usar un 15% de ceniza de capulí en relación con el peso arcilla en la producción de ladrillos, ya que esto mejora las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos resultantes.

Es importante realizar estudios adicionales con distintas concentraciones de ceniza para perfeccionar la proporción ideal y obtener mejores resultados. Asimismo, es esencial investigar más sobre otras cenizas derivadas de residuos de madera, que se usan como combustibles y cuyas cenizas se liberan al medio ambiente.

Para la construcción de pilas o prisma, es crucial prestar atención al ancho de las juntas, nivel y plomada, puesto que estos aspectos pueden influir en los resultados de los ensayos.

Se aconseja a los fabricantes de ladrillos artesanales que sigan los estándares establecidos en la NTP E.70 Albañilería. Esto garantizará la obtención de un producto con un proceso constructivo más efectivo, tanto antes, durante como después de la fabricación. Seguir estos parámetros contribuirá a mejorar la calidad y la eficiencia en todo el proceso de producción de los ladrillos.

Finalmente, se sugiere que el apilamiento y almacenamiento de las muestras se realice en superficies lisas y niveladas para prevenir deformaciones en las unidades recién hechas.

## REFERENCIAS

- Aguilar, Jessica Paola. 2019.** *Elaboración de ladrillos mediante la inclusión de ceniza de carbón proveniente de la ladrillera Bella Vista De Tunja-Boyacá.* Universidad Santo Tomás. Tunja - Colombia : s.n., 2019.
- Aldás Ramos, Daysi Eliana. 2023.** *Análisis de las propiedades mecánicas, tracción paralela a la fibra y flexión perpendicular a la fibra de la madera de capulí y su factibilidad como material estructural de acuerdo con la norma ecuatoriana de la construcción.* Universidad Técnica de Ambato. Ambato - Ecuador : s.n., 2023.
- Andía, Juan Agustí y Sayritupac, Jhon Diego. 2022.** *Propiedades físico-mecánicas en muros de ladrillo artesanal adicionando ceniza de algodón-hoja de palmera datilera.* Universidad César Vallejo. Lima - Trujillo : s.n., 2022.
- Andia, Juan Agustín y Sayritupac, Jhon Diego. 2022.** *Propiedades físico-mecánicas en muros de ladrillo artesanal adicionando ceniza de algodón-hoja de palmera datilera, Ica.* Universidad César Vallejo. Lima - Perú : s.n., 2022.
- Baena, Guillermina. 2017.** *Metodología de la Investigación.* México : Grupo Editorial Patria, 2017.
- Bendezú, Maxs. 2019.** *Aplicación de ceniza de bagazo de la caña de azúcar en ladrillos ecológicos en el distrito de Puente Piedra, Lima.* Universidad César Vallejo. Lima - Perú : s.n., 2019.
- Blanco, Osmar Edwin. 2022.** *Incorporación de Cenizas de Ichu para evaluar el comportamiento mecánico de muros de albañilería, Juliaca.* Universidad César Vallejo. Lima - Perú : s.n., 2022.
- Borja , Manuel. 2016.** *Metodología de la Investigación Científica para ingenieros.* Chiclayo - Perú : s.n., 2016.
- Bravo , Santiago Daniel y Espinoza, Felipe Andrés. 2019.** *Elaboración de un mampuesto ecológico elaboración de un mampuesto ecológico utilizando bagazo de caña de azúcar.* Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito - Ecuador : s.n., 2019.
- Camacho, Adriana y Mena, María José. 2018.** *Diseño y fabricación de un ladrillo ecológico como material sostenible de construcción y comparación de sus propiedades mecánicas con un ladrillo tradicional.* Pontificia Universidad Católica Del Ecuador. Quito - Ecuador : s.n., 2018.

- Carrasco, Eduardo Linder y Tinoco, Deina Candelaria. 2018.** *Elaboración de ladrillos ecológicos a partir de arena de sílice y arcillas mixtas procedentes de a Compañía Minera Sierra Central.* Universidad Nacional del Centro del Perú. 2018.
- Carrasco, Sergio. 2017.** *Metodología de la Investigación científica.* Lima - Perú : San Marcos, 2017.
- Cedeño, Manuel Eduardo, Álaba , Martín Uribe y Ruiz, Wilder Enrique. 2022.** Cenizas de hornos artesanales utilizadas como adición en la elaboración de ladrillos. *Polo del Conocimiento.* 27 de 11 de 2022, Vol. 7, 11.
- Chuctaya, David Daniel. 2023.** *Incorporación de diatomita y liparita, para sustituir parcialmente la arcilla en la fabricación de ladrillo artesanal tipo king kong, de acuerdo a la norma E. 070.* Universidad San Martín de Porres. Lima - Perú : s.n., 2023.
- Córdova, Edwin Moises y Morales, Pamela Mónica. 2019.** *Hojuelas de Tarwi.* Universidad San Ignacio de Loyola. Lima Perú : s.n., 2019.
- Doğan, Neslihan, y otros. 2021.** Eco-Friendly Fired Brick Produced from Industrial Ash and Natural Clay: A Study of Waste Reuse. *Materials.* 12 de February de 2021, Vol. 14, pág. 877.
- Eliche, Dolores, y otros. 2017.** Investigación sobre el uso de cenizas de poda de pino-olivo de fondo o volante para producir materiales cerámicos respetuosos con el medio ambiente. [En línea] Enero de 2017.
- Enid, Rosa, y otros. 2021.** Ladrillos ecológicos procedentes de residuos industriales como lodos de curtiduría y ceniza de bagazo de caña de azúcar. 2021.
- Fontanela, Gabriela. 2006.** *Caracterización del aceite esencial de "Lanche".* Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima - Perú : s.n., 2006.
- García, Nicol. 2022.** *Comportamiento físico-mecánico en muros de ladrillo de arcilla incorporando cenizas de tallo de quinua y corona de piña.* Universidad César Vallejo. Callao - Perú : s.n., 2022.
- Gareca, Mireya, y otros. 2020.** Nuevo material sustentable: ladrillos ecológicos a base de residuos inorgánicos. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación.* Junio de 2020, Vol. 18, 21.
- Garzón, Luiza Fernanda y Morales , Mercedes.** *Caracterización de las propiedades mecánicas de materiales compuestos elaborados a partir de residuos industriales.* Universidad Libre Seccional Pereira. Colombia : s.n.

**Gutierrez , Emerson. 2022.** *Influencia de la adición de cenizas de fondo en las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería, Andahuaylas.* Universidad César Vallejo. Lima - Perú : s.n., 2022.

**Hernández, Roberto, Fernández, Carlos y Baptista, María del Pilar. 2014.** *Metodología de la Investigación.* Mexico : McGraw-Hill - Educación, 2014.

**Huaquisto, Samuel y Quispe, Germán Belizario. 2021.** Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. *Revista de Investigaciones Altoandinas.* 13 de 02 de 2021, Vol. 20, 2, págs. 225-234.

**Huayanay, Tony Atilio y Sevillano, Kevin Arnol. 2022.** *Comportamiento físico-mecánica en muros portantes de ladrillo adicionando paja de ichu y ceniza de paja de cebada, Áncash.* Universidad Cesar Vallejo. Lima - Perú : s.n., 2022.

**Iza, Angel Ruben. 2019.** *Evaluación de la fabricación de bioladrillos utilizando materiales alternativos plástico pet y cascarilla de arroz para disminuir el impacto ambiental en la microempresa Pilicita en El Cantón Saquisilí.* Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga : s.n., 2019.

**Justo, Edgar Lizardo y Umpiri, Saúl. 2022.** *Análisis del comportamiento físico y mecánico de ladrillos artesanales adicionando cenizas de eucalipto en la ciudad de Juliaca.* Universidad César Vallejo. Lima - Perú : s.n., 2022.

**López, Juan Carlos. 2020.** *Elaboracion de bloques ecologicos implementando sistemas de produccion alternativos, para la construccion de viviendas sostenibles y sustentables.* Universidad Santo Tomás. San Juan de Pasto - Colombia : s.n., 2020.

**Mamani, Víctor Raúl. 2022.** *Elaboración de ladrillos con adición de residuos de papel de cemento en muros de albañilería confinada, Puno.* Universidad César Vallejo. Lima - Perú : s.n., 2022.

**Mena, Dylan Alexander y Villamarin, Jonathan Marcelo. 2019.** *Control de calidad en los procesos de fabricación de ladrillos ecológicos.* Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga – Ecuador : s.n., 2019.

**Ministerio de Vienda, Construcción y Saneamiento. 2006.** *Norma E.70 Albañilería.* 2006, 05 de mayo : Diario Oficial El Peruano, 2006.

**Montjoy, Valeria. 2022.** ArchDaily. *La atemporalidad del ladrillo: sus beneficios en la construcción.* [En línea] 11 de Abril de 2022. <https://www.archdaily.pe/pe/979802/la-atemporalidad-del-ladrillo-sus-beneficios-en-la-construccion>.

- Morillos, Janeth Vanessa. 2021.** *Influencia de la adición de cenizas de cascarilla de arroz en la resistencia mecánica de los ladrillos de concreto.* Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca - Perú : s.n., 2021.
- Muñoz, Sócrates Pedro, Delgado, José Luis y Facundo, Luis Enrique. 2021.** Elaboración de ladrillos ecológicos en muros no estructurales: una revisión. *Cultura Científica y tecnológica.* 12 de Febrero de 2021, Vol. 18, 1, págs. 1-9.
- Murga, Jorge Jhan. 2021.** *Influencia de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo ecológico con fibras de totora y hoja de palmera, Ferreñafe.* Universidad César Vallejo. Chiclayo - Perú : s.n., 2021.
- Neves, Antonio. 2021.** Ladrillo ecológico. [En línea] 20 de 04 de 2021. <https://es.blok.com.br/blog/ladrillo-ecologico>.
- Ñupas, Humberto, y otros. 2018.** *Metodología de la investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis.* Bogotá : Ediciones de la U, 2018. pág. 560.
- Piscal, Carlos, García, Nelson y Medina , Samuel. 2012.** *Resistencia a la compresión de ladrillos en el municipio de ocaña.* 13 de Diciembre de 2012.
- Puentes, Duvan Andrés. 2021.** *Análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos de arcilla como elemento constructivo proveniente de fábricas ubicadas en la zona norte del departamento del Valle del Cauca en Colombia.* Universidad de la Costa. Barranquilla - Colombia : s.n., 2021.
- Sandoval, Geyner y Huamán, Marlon Aquiles. 2021.** *Efecto de la adición de ceniza de cáscara de café en la resistencia a la compresión de ladrillo de concreto – Jaén.* Universidad Cesar Vallejo. Trujillo - Perú : s.n., 2021.
- Sousa, Eduardo. 2023.** ArchDaily. *Ladrillo por ladrillo: cómo los residuos pueden dar forma al futuro de la construcción.* [En línea] 30 de Agosto de 2023. <https://www.archdaily.pe/pe/1006115/ladrillo-por-ladrillo-como-los-residuos-pueden-dar-forma-al-futuro-de-la-construccion>.
- Vilca, Willam. 2021.** *Comportamiento estructural de muro de albañilería confinada con unidades de ladrillo artesanal incorporando cenizas de totora, Puno.* Universidad César Vallejo. Lima - Perú : s.n., 2021.
- Villacís, Mercedes, y otros. 2022.** Estabilización de arcillas expansivas con ceniza volcánica y ceniza de cascarilla de arroz. *Revista Tecnológica Espol.* 20 de 06 de 2022, Vol. 34, 2.

**Vrdoljak, I. 2021.** Influencia de la adición de cenizas volantes en las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos de arcilla. *Conferencia de la OIO. Ser.: Mater. ciencia Ing.1209012046.* 15 de Octubre de 2021.

**Zambrano, Gipson Daniel y Zambrano, Mauro Fabricio. 2018.** *Ladrillos ecológicos en la construcción de vivienda económica en el Cantón Chone.* Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Marabí Extensión Chone. Marabí - Ecuador : s.n., 2018.

**Anexo 1: Matriz de Operacionalización de Variables.**

TÍTULO	Evaluación de propiedades físico mecánicas en muros de ladrillos ecológicos con adición de cenizas de capulí, Cajamarca - 2022					
AUTOR	Maximiliano Cóndor Huamán					
Variables	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	Dimensiones	Indicadores	ESCALA	METODOLOGÍA
Variable Independiente  Cenizas de capulí	La madera del capulí, siendo dura, se emplea en la producción de leña y carbón. Al someterla a calcinación, se produce un residuo inorgánico no combustible denominado ceniza.	Las cenizas de madera de capulí poseen diversas propiedades y se añaden a las mezclas en proporciones específicas. Además, se analizan sus características químicas para evaluar su efecto en los ladrillos	Dosificación	0,00% de cenizas de madera capulí	Razón	<b>Tipo de investigación:</b> Investigación aplicada <b>Nivel de Investigación:</b> Investigación explicativa <b>Diseño de Investigación:</b> Experimental <b>Población:</b> Se compone de 92 ladrillos <b>Muestreo:</b> Se empleará un muestreo no probabilístico por conveniencia, lo que implica que se seleccionarán todas las probetas y vigas disponibles para su análisis. Técnica: <b>Observación directa</b> Instrumento de recolección de datos: Se utilizará una ficha de recolección de datos junto con equipos y herramientas de laboratorio, así como software de análisis de datos como Excel o SPSS.
				0,5% de cenizas de madera capulí		
				10% de cenizas de madera capulí		
				15% de cenizas de madera capulí		
Variable dependiente  Propiedades físico mecánicas en ladrillos ecológicos	Las propiedades del concreto se presentan en dos etapas: cuando está recién mezclado (fresco) y una vez que ha alcanzado su resistencia final (endurecido). Estas características son indicativas de su calidad y rendimiento, permitiendo evaluar si satisface los criterios para el diseño previsto.	Las propiedades físico-mecánicas se determinan mediante la evaluación de la capacidad de trabajo, la masa por unidad, el contenido de aire, la exudación, la segregación, la permeabilidad y la resistencia ante fuerzas de compresión, tracción y flexión.	Propiedades físicas	Variación dimensional (%)	Razón	
			Alabeo(mm)			
			Absorción (%)			
		Propiedades mecánicas	Resistencia a la compresión por unidad de ladrillo ecológico. (kg/cm <sup>2</sup> )			
			Resistencia a la compresión axial en prismas de ladrillo ecológico (kg/cm <sup>2</sup> )			



Anexo 2: MATRÍZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: Evaluación de propiedades físico-mecánicas en muros de ladrillos ecológicos con adición de cenizas de capulí, Cajamarca - 2023								
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOSTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	ESCALA DE MEDICIÓN	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
<b>PROBLEMA PRINCIPAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPOTESIS GENERAL</b>	V.I. Cenizas de madera nogal (CML) y Ceniza de madera de capulí (CTT)	Dosificación	0% CMC	Hoja de registro de datos de la balanza digital para medición.	De Razón	Tipo de investigación: Investigación aplicada Nivel de Investigación: Investigación explicativa Diseño de Investigación: Experimental Población: Se compone de 92 ladrillos Muestreo: Se empleará un muestreo no probabilístico por conveniencia, lo que implica que se seleccionarán todas las probetas y vigas disponibles para su análisis. Técnica: Observación directa Instrumento de recolección de datos: Se utilizará una ficha de recolección de datos junto con equipos y herramientas de laboratorio, así como software de análisis de datos como Excel o SPSS.
¿De qué manera la incorporación de cenizas de Capulí afecta las propiedades físico-mecánicas en ladrillos ecológicos en Cajamarca durante el año 2022?	<b>Evaluar el efecto de incorporar cenizas de Capulí en las propiedades físico-mecánicas de ladrillos ecológicos en Cajamarca, 2023</b>	La adición de cenizas de Capulí influye positivamente en las propiedades físico-mecánicas en ladrillos ecológicos, Cajamarca, 2023			5% CMC			
<b>PROBLEMAS DERIVADOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>HIPOTESIS ESPECIFICOS</b>			10% CMC			
¿De qué forma la inclusión de cenizas de Capulí modifica las propiedades físicas en ladrillos ecológicos en Cajamarca, 2022?	Determinar cómo la inclusión de cenizas de Capulí afecta las propiedades físicas de los ladrillos ecológicos en Cajamarca, 2023	Las hipótesis específicas son: La adición de cenizas de Capulí influye en las propiedades físicas en ladrillos ecológicos, Cajamarca, 2023			15% CMC			
¿Cuál es el efecto de añadir cenizas de Capulí sobre las propiedades mecánicas en ladrillos ecológicos en Cajamarca, 2022?	Evaluar el impacto de la adición de cenizas de Capulí en las propiedades mecánicas de los ladrillos ecológicos, Cajamarca, 2023	La adición de cenizas de Capulí influye en las propiedades mecánicas en ladrillos ecológicos, Cajamarca, 2023	V.D. Ladrillos ecológicos	Propiedades físicas	Variación dimensional (%)	Formulario para la recopilación de datos del procedimiento conforme a la NTP 339.613.	De razón	
¿Cómo afecta la dosificación de cenizas de Capulí en las características físico-mecánicas en ladrillos ecológicos en Cajamarca, 2022?	Determinar el efecto de la dosificación de cenizas de Capulí en las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos, Cajamarca, 2023.	La dosificación de adición de cenizas de Capulí influye en las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos en Cajamarca, 2023.			Alabeo(mm)			
				Propiedades mecánicas	Absorción (%)	Hoja de registro de datos conforme a los ensayos de la NTP 339.613.	De intervalo	
					Resistencia a la comprensión por unidad (kg/cm <sup>2</sup> )			
					Resistencia a la comprensión axial en prismas de ladrillo ecológico (kg/cm <sup>2</sup> )			

### ANEXO 3: Certificado de validación del instrumento de recolección de datos

#### I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto : Ing. Ramírez Aguilar Aladino  
 Institución donde labora : ARMAX IGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN SACS  
 Especialidad : Ingeniero Civil  
 Instrumento de evaluación : Variación dimensional, Alabeo, Absorción, Resistencia a la comprensión  
 Autores del instrumento : Bach. Maximiliano Cóndor Huamán  
 : Bach. Alex Dante Quiroz Cabanillas

#### II. IASPECTOS DE VALIDACIÓN

MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.					X
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: <b>COLOCAR EL NOMBRE DE LA VARIABLE</b> en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.					X
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: <b>COLOCAR EL NOMBRE DE LA VARIABLE</b>					X
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					X
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio.					X
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
COHERENCIA	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: <b>COLOCAR EL NOMBRE DE LA VARIABLE</b>					X
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.					X
PERTINENCIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.					X
<b>PUNTAJE TOTAL</b>						

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido ni aplicable)

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

Aplicable

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

50

  
 ALADINO RAMIREZ AGUILAR  
 Ingeniero Civil  
 Reg CIP. N° 288607

Cajamarca, 07 de diciembre de 2022

## ANEXO 4: Certificado de validación del instrumento de recolección de datos

### I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto : Ing. Francisco Efraim Saldaña Marín  
Institución donde labora : Municipalidad Distrital de la Encañada  
Especialidad : Ingeniero Civil  
Instrumento de evaluación : Variación dimensional, Alabeo, Absorción, Resistencia a la comprensión  
Autores del instrumento : Bach. Maximiliano Córdor Huamán  
: Bach. Alex Dante Quiroz Cabanillas

### II. IASPECTOS DE VALIDACIÓN

MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.					X
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: <b>COLOCAR EL NOMBRE DE LA VARIABLE</b> en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.					X
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: <b>COLOCAR EL NOMBRE DE LA VARIABLE</b>					X
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					X
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio.					X
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
COHERENCIA	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: <b>COLOCAR EL NOMBRE DE LA VARIABLE</b>					X
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.					X
PERTINENCIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.					X
<b>PUNTAJE TOTAL</b>						

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido ni aplicable)

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

\_\_\_\_\_ Aplicable \_\_\_\_\_

PROMEDIO DE VALORACIÓN: 50

Cajamarca, 19 de diciembre de 2022

  
Francisco E. Saldaña Marín  
Ing° Civil CIP. 51749

## ANEXO 5: Certificado de validación del instrumento de recolección de datos

### I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto : Ing. Luis Gerardo Vásquez Barboza  
Institución donde labora : VASQUEZ Y BORDA CONSULTORES SRL  
Especialidad : Ingeniero Civil  
Instrumento de evaluación : Variación dimensional, Alabeo, Absorción, Resistencia a la comprensión  
Autores del instrumento : Bach. Maximiliano Córdor Huamán  
: Bach. Alex Dante Quiroz Cabanillas

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.					X
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: <b>COLOCAR EL NOMBRE DE LA VARIABLE</b> en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.					X
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: <b>COLOCAR EL NOMBRE DE LA VARIABLE</b>					X
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					X
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio.					X
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
COHERENCIA	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: <b>COLOCAR EL NOMBRE DE LA VARIABLE</b>					X
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.					X
PERTINENCIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.					X
<b>PUNTAJE TOTAL</b>						

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido ni aplicable)

### IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

Aplicable

PROMEDIO DE VALORACIÓN: 50

Cajamarca, 22 de diciembre de 2022

  
Ing. Luis G. Vásquez Borda  
INGENIERO CIVIL  
CIP N° 175613



## PANEL FOTOGRAFICO

### Evaluación de propiedades físico-mecánicas en ladrillos ecológicos con adición de cenizas de Capulí, Cajamarca, 2023



Foto 1. Selección de cantera Manzanamayo Cajamarca



Foto 2. Obtención de agregado



Foto 3. Preparación de especímenes



Foto 4. Molienda de los materiales para especímenes





Foto 5. Elaboración de especímenes



Foto 6. Especímenes elaborados



Foto 7. Especímenes elaborados sin quemar



Foto 8. Especímenes elaborados quemados



Foto 9. Ensayos de variabilidad



Foto 10. Ensayos de labeo



Foto 11. Ensayo de absorción



Foto 12. Ensayo de absorción





Foto 13 Ensayo de resistencia a la compresión de unidades



Foto 14. Ensayo de resistencia a la compresión de prismas