UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis

Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de la albañilería de adobe, adicionada con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay, en el distrito de San Jerónimo, Cusco 2024

Asesor:

Mg. Ing. Chavarry Morveli, Daniel

Autores:

Peña Oscco, Rita Kassandra

Tecsi Conza, Alain Marcial

Para optar el Título Profesional de

Ingeniero(a) Civil

Cusco - Cusco - Perú

2025

Acta de sustentación

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Acta N°: 016

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Cusco, , a los 31 días del mes de Diciembre del 2025, siendo las 9:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 563-2025-UTEA-FC-FI-EPIC de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Laime Calvo Edixon
Dictaminante:	Mg. Mendoza Nina Renato Héctor
Replicante :	Mg. Canal Apaza Jaime

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:
Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de la albañilería de adobe, adicionada con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay, en el distrito de San Jerónimo, Cusco 2024

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):
Br.: Peña Oscco Rita Kassandra
(Apellidos y Nombres)
Br.: Tecsi Conza Alain Marcial
(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:
Ingeniero(a) Civil
(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):
Por: Unanimidad
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Br. Peña Oscco Rita Kassandra	Aprobado Notable
Br. Tecsi Conza Alain Marcial	Aprobado Notable

Siendo las 10:30 a.m horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

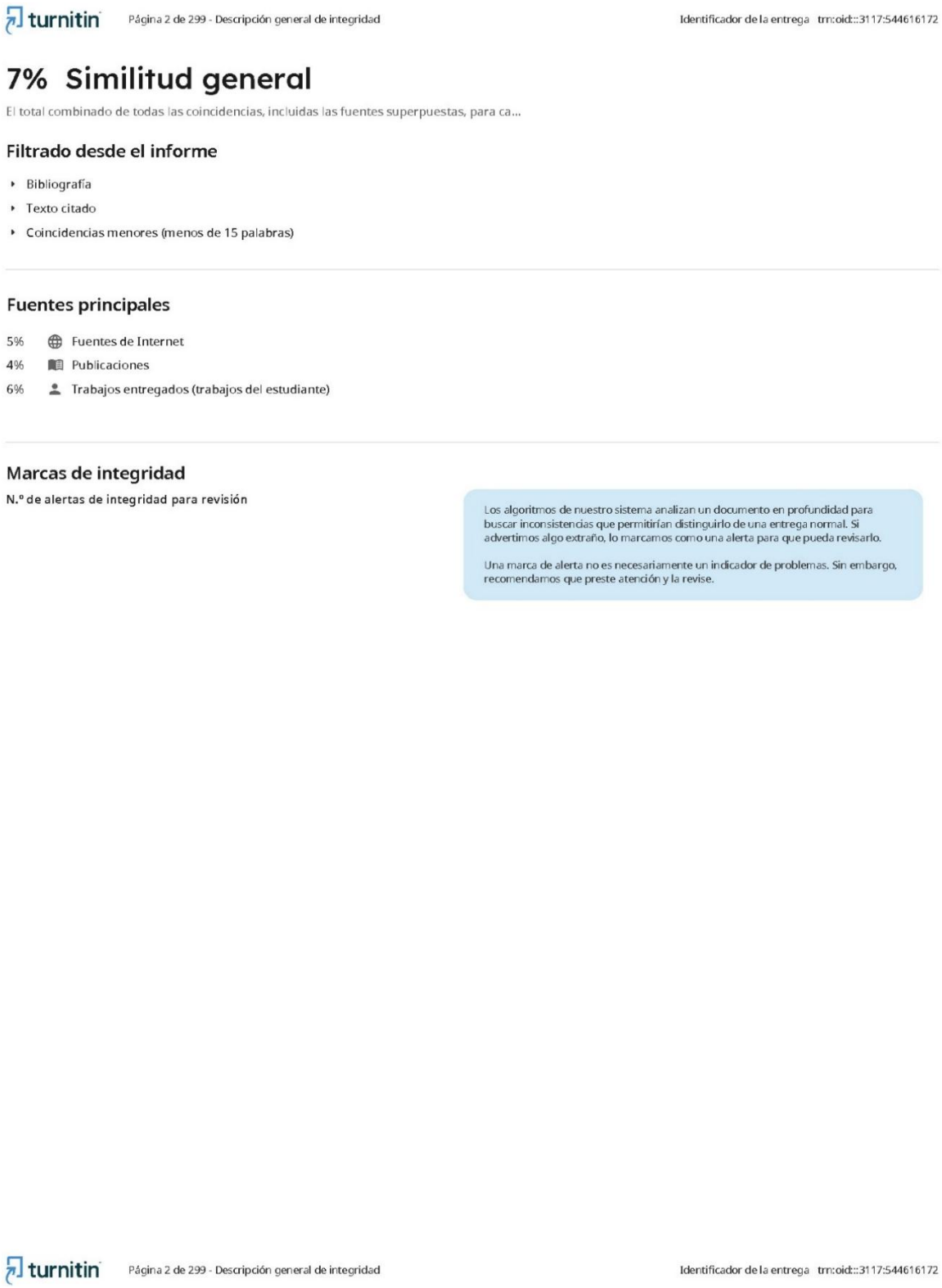
Presidente: Mg. Laime Calvo Edixon
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres) (Firma)

Dictaminante: Mg. Mendoza Nina Renato Héctor
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres) (Firma)

Replicante: Mg. Canal Apaza Jaime
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres) (Firma)

(*): **Mayoría**: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; **Unanimidad**: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art.18 RGGAT.
(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Reporte de similitud



Metadatos

Datos del autor		
Apellidos y nombres	:	Peña Oscco Rita Kassandra Tecsi Conza Alain Marcial
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Numero de documento de DNI	:	75826844 46974532
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0005-5568-6040 https://orcid.org/0009-0001-3163-6699
Datos del asesor		
Apellidos y nombres	:	Mg. Ing Chavarry Morveli Daniel
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Numero de documento de DNI	:	40065144
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0006-5550-8057
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela profesional	:	Ingeniería Civil
Línea de investigación	:	Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible
Rango de año en que se realizó la investigación	:	2024 - 2025
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	7%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A mis padres, Rosa Marleni Oscco Nolazco y Domingo Peña Prado, la brújula de mi vida. Gracias por forjar mis alas con amor y sacrificio; este sueño cumplido es el reflejo de su inmensa entrega.

A Jhoseph y Evelyn, mi complicidad eterna; y a mis abuelos Ernestina y Lucho, mi refugio y sabiduría. Gracias por ser mi fortaleza en cada paso.

A Alain, compañero de tesis, por la lealtad, la paciencia y el esfuerzo compartido en este gran viaje académico.

Rita Kassandra Peña Oscco

A mi madre, Florencia Conza Mamani, pilar fundamental de mi vida. Gracias por tu amor infinito, por cada sacrificio y por enseñarme que con esfuerzo todo es posible. Este logro es tan tuyo como mío.

A toda mi familia, por ser mi refugio y mi motivación constante.

A Kassandra, mi compañera, por su apoyo incondicional y por impulsarme siempre a ser mejor. Gracias a todos por formar parte de este sueño cumplido.

Alain Marcial Tecsi Conza

Agradecimiento

A Dios, la Virgen de Guadalupe y el Señor de Huanca, por ser mi luz y fortaleza espiritual para alcanzar esta meta.

A mi familia, por su amor incondicional, paciencia y por ser el soporte diario que me impulsó a no rendirme nunca.

A mi asesor, Mg. Ing. Daniel Chavarry Morveli, por su excelente guía y calidad humana durante este proceso.

A los ingenieros dictaminantes y a mi Escuela Profesional, por sus valiosos aportes y la formación recibida.

Rita Kassandra Peña Oscco

Agradezco al Dios por ser mi guía y fortaleza en este camino.

A mi familia, pilar fundamental de mi vida. Gracias por ser mi motor, por cada sacrificio realizado

Un reconocimiento especial a mi asesor, Mg. Ing. Daniel Chavarry Morveli, por su excelente mentoría y calidad humana; así como a los ingenieros dictaminantes y a mi Escuela Profesional, cuya exigencia y enseñanzas han sido fundamentales para mi formación.

Alain Marcial Tecsi Conza

Resumen

El objetivo general de la investigación fue determinar la influencia de la incorporación de madera pulverizada de residuos de parquet (MP) proveniente de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay (MJ) en las propiedades físicas y mecánicas del adobe tradicional, en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024. La metodología aplicada fue de tipo experimental, con un diseño completamente al azar, donde se elaboraron 300 unidades de adobe distribuidas en diez grupos experimentales: un grupo patrón sin aditivos y nueve combinaciones con diferentes proporciones de MP y MJ. Se realizaron ensayos de succión, resistencia a la compresión simple, de pilas y de muretes, siguiendo los procedimientos establecidos por la Norma Técnica Peruana E.080. Los resultados evidenciaron que las mezclas con aditivos mejoraron de manera significativa el desempeño del adobe. En particular, la combinación 2%MP+7%MJ presentó la mejor resistencia a la compresión y comportamiento físico más estable frente al agua, superando al adobe tradicional en todas las pruebas. Se concluye que la incorporación controlada de MP y MJ aumenta la resistencia estructural, reduce la succión, cumpliendo con los valores normativos y potenciando la durabilidad del material. La pertinencia del estudio radica en su contribución al desarrollo de materiales ecológicos y sostenibles, al aprovechar residuos de parquet y recursos naturales locales, fortaleciendo la construcción tradicional con alternativas de bajo impacto ambiental y mejor rendimiento técnico, adaptadas a las condiciones climáticas y socioeconómicas de la región andina.

Palabras clave: Adobe, madera pulverizada, mucílago, sostenibilidad, resistencia.

Abstract

The overall objective of the research was to determine the influence of incorporating pulverized wood (PW) from parquet waste and Jahuacollay mucilage (JM) on the physical and mechanical properties of traditional adobe in the district of San Jerónimo, Cusco, 2024. The methodology applied was experimental, with a completely randomized design, in which 300 adobe units were produced and distributed into ten experimental groups: one control group without additives and nine combinations with different proportions of PM and MJ. Suction, absorption, simple compression, pile, and wall resistance tests were performed, following the procedures established by Peruvian Technical Standard E.080. The results showed that mixtures with additives significantly improved the performance of adobe. In particular, the combination of 2% MP + 7% MJ showed the best compressive strength and most stable physical behavior when exposed to water, outperforming conventional adobe in all tests. It is concluded that the controlled incorporation of MP and MJ increases structural strength, reduces suction and absorption, complies with regulatory values, and enhances the durability of the material. The relevance of the study lies in its contribution to the development of ecological and sustainable materials, by taking advantage of parquet waste and local natural resources, strengthening traditional construction with alternatives that have low environmental impact and better technical performance, adapted to the climatic and socioeconomic conditions of the Andean region.

Keywords: Adobe, pulverized wood, mucilage, sustainability, resistance.

Índice

Acta de sustentación ..... **ii**

Reporte de similitud ..... **iii**

Metadatos ..... **iv**

Dedicatoria ..... **v**

Agradecimiento ..... **vi**

Resumen ..... **vii**

Abstract ..... **viii**

Índice ..... **ix**

Índice de tablas ..... **xii**

Índice de figuras ..... **xiv**

Índice de anexos ..... **xvi**

I. Introducción 17

II. Planteamiento del problema 20

2.1. Descripción y formulación del problema 20

2.2. Objetivos 24

2.2.1. Objetivo general 24

2.2.2. Obetivos específicos 24

2.3. Justificación e importancia 25

2.4. Hipótesis 31

2.5. Variables 32

III. Marco teórico 33

3.1. Antecedentes 33

3.2. Bases teóricas 45

3.3. Definición de términos 69

IV. Metodología 72

4.1. Tipo y nivel de investigación 72

4.2. Ámbito temporal y espacial 73

4.3. Población y muestra 74

4.4. Instrumentos 78

4.5. Procedimientos 79

4.6. Análisis de datos 117

4.7. Consideraciones éticas 123

V. Resultados y discusión 125

VI. Conclusiones 163

VII. Recomendaciones 167

VIII. Referencias 171

IX. Anexos 177

Índice de tablas

Tabla 1 Matriz de operacionalización de variables 32

Tabla 2 Tabla de comparación de antecedentes. 42

Tabla 3 Muestras de diseños de mezcla..... 76

Tabla 4 Matriz Datos de análisis granulométrico 85

Tabla 5 Prueba de hidrometría..... 86

Tabla 6 Cantidad de adición de aditivos..... 94

Tabla 7 Tabla de datos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión simple de unidades. 101

Tabla 8 Tabla de datos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión simple de pilas de albañilería 103

Tabla 9 Tabla de datos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión diagonal de muretes de albañilería**.** 107

Tabla 10 Tabla de datos obtenidos en el ensayo de succión de adobes..... 110

Tabla 11 Tabla de datos obtenidos en el ensayo de absorción de adobes. 112

Tabla 12 Tabla de datos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión..... 125

Tabla 13 Tabla de datos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión de pilas de adobe..... 127

Tabla 14 Tabla de datos obtenidos en el ensayo de resistencia diagonal de muretes..... 131

Tabla 15 Valores de succión (g/min/cm²) del adobe con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de jahuacollay. 134

Tabla 16 Pruebas de normalidad – Resistencia a la compresión simple. 144

Tabla 17 Kruskal Wallis – Resistencia a la compresión simple 145

Tabla 18 Duncan – Resistencia a la compresión simple 146

Tabla 19 Pruebas de normalidad – Resistencia a la compresión en pilas. 148

Tabla 20 Pruebas de homogeneidad de varianzas – Resistencia a la compresión en pilas. 149

Tabla 21 ANOVA – Resistencia a la compresión en pilas. 150

Tabla 22 HSD Tukey – Resistencia a la compresión en pilas. 151

Tabla 23 Pruebas de normalidad – Resistencia a la compresión en muretes 153

Tabla 24 Kruskal Wallis – Resistencia a la compresión en muretes. 154

Tabla 25 Duncan – Resistencia a la compresión en muretes. 155

Tabla 26 Pruebas de normalidad – Succión 157

Tabla 27 Kruskal Wallis – Succión 158

Tabla 28 Duncan – Succión 159

Tabla 29 Prueba de la hipótesis general 161

Tabla 30 Matriz de consistencia 178

Índice de figuras

Figura 1 Identificación del suelo 80

Figura 2 Extracción del suelo 81

Figura 3 Análisis granulométrico de la muestra de suelo 82

Figura 4 Cuarteo de muestra. 82

Figura 5 Tamizado de muestra 84

Figura 6 Granulometría del suelo 84

Figura 7 Dosificación de madera pulverizada de residuos de parquet. 88

Figura 8 Distribución de madera pulverizada de residuos de parquet 89

Figura 9 Procesamiento del mucílago de jahuacollay. 91

Figura 10 Preparación del mucílago de jahuacollay 91

Figura 11 Preparación de las mezclas de adobe. 94

Figura 12 Preparación de adoberas de 10x10cm. 97

Figura 13 Preparación de adoberas de 36x18x10cm 97

Figura 14 Curado de muestras de adobe 98

Figura 15 Ensayo de resistencia a compresión simple de las unidades. 100

Figura 16 Ensayo de resistencia a compresión axial 103

Figura 17 Ensayo de resistencia a compresión diagonal 106

Figura 18 Ensayo de succión en las muestras de adobe. 109

Figura 19 Promedios de la resistencia a la compresión simple del adobe con madera

pulverizada de residuos de parquet y mucílago de jahuacollay..... 126

Figura 20 Promedios de la resistencia a la compresión de pilas de adobe con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de jahuacollay..... 130

Figura 21 Promedios de la resistencia a la compresión de muretes de adobe con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de jahuacollay..... 133

Figura 22 Promedios de la succión del adobe con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de jahuacollay. 136

Figura 23 Gráfica de medias - Resistencia a la compresión simple. 147

Figura 24 Gráfica de medias - Resistencia a la compresión en pilas. 152

Figura 25 Gráfica de medias – Resistencia a la compresión en muretes..... 156

Figura 26 Gráfica de medias - Succión 160

Índice de anexos

Anexo 1. Matriz de consistencia 178

Anexo 2. Ensayos de laboratorio..... 181

Anexo 3. Panel fotográfico..... 233

Anexo 4. Análisis de datos estadísticos 251

I. Introducción

En muchas comunidades del Perú, y especialmente en la región del Cusco, el adobe sigue siendo parte esencial de la vida cotidiana. No solo es un material accesible y económico, sino también un elemento profundamente ligado a la identidad y al conocimiento constructivo heredado de generaciones. Su fabricación a partir de tierra cruda, mezclada y moldeada de manera artesanal, refleja una conexión directa entre la vivienda y el territorio. Sin embargo, a pesar de su valor cultural y de su presencia predominante en las zonas rurales, las construcciones de adobe enfrentan desafíos importantes. Su fragilidad ante sismos, su baja resistencia mecánica y su sensibilidad a la humedad continúan poniendo en riesgo a miles de familias que habitan en este tipo de edificaciones.

Esta realidad es especialmente evidente en el distrito de San Jerónimo, donde gran parte de las viviendas aún se levanta con adobe tradicional. Las condiciones sísmicas de la región, sumadas a un clima variable y a las lluvias estacionales, aceleran el deterioro del material y reducen su capacidad para garantizar seguridad estructural. Aunque a lo largo de los años se han planteado diversas alternativas para fortalecer el adobe, muchas de ellas requieren materiales industriales costosos o técnicas que no son fácilmente adoptadas en contextos rurales. Surge entonces una pregunta clave: ¿es posible mejorar el adobe sin perder su esencia tradicional, sin encarecer su producción y sin alejarse de los recursos locales?

En esta búsqueda, la incorporación de aditivos naturales se presenta como una opción

prometedora. En particular, dos materiales accesibles y presentes en el entorno andino llaman la atención: la madera pulverizada proveniente de residuos de parquet, y el mucílago de la planta Jahuacollay. El primero permite aprovechar un residuo de la industria de la construcción, transformándolo en un refuerzo fino capaz de limitar la fisuración del adobe. El segundo, un agente viscoso de origen vegetal, podría actuar como un aglutinante natural capaz de mejorar la cohesión interna y reducir la permeabilidad del material. Ambos materiales tienen una ventaja común: son económicos, disponibles en la región y compatibles con las prácticas constructivas locales.

Partiendo de estas posibilidades, la presente investigación se propuso evaluar la influencia de la madera pulverizada de residuos de parquet y del mucílago de Jahuacollay en las propiedades físico-mecánicas del adobe, comparándolas con las del adobe tradicional empleado en San Jerónimo. Para ello, se analizaron parámetros fundamentales como la resistencia a la compresión simple, la resistencia axial en pilas, la resistencia diagonal en muretes y la succión capilar, todos ellos directamente relacionados con la estabilidad y durabilidad del material. Además, se buscó identificar la dosificación óptima que permita potenciar el comportamiento del adobe sin alterar su proceso de elaboración ni su accesibilidad.

Este estudio adquiere especial relevancia porque no solo aporta soluciones técnicas, sino que también responde a una necesidad social urgente: mejorar la seguridad y habitabilidad de las viviendas rurales sin imponer métodos costosos o ajenos a la realidad local. Aprovechar materiales disponibles en el propio entorno y reutilizar residuos permite avanzar hacia una construcción más sostenible, respetuosa de la tradición y ambientalmente responsable. Al mismo tiempo, la posibilidad de contar con un adobe fortalecido contribuye a reducir la vulnerabilidad sísmica de las familias y a promover un desarrollo habitacional más seguro y resiliente.

En conjunto, esta investigación busca tender un puente entre el conocimiento ancestral de la arquitectura en tierra y las alternativas modernas para mejorar su desempeño, demostrando que es posible innovar sin perder la esencia del material ni el vínculo cultural que lo sustenta. Los resultados obtenidos ofrecen una base sólida para futuras intervenciones y para la formulación de soluciones técnicas que fortalezcan el uso del adobe en contextos rurales como San Jerónimo, contribuyendo al bienestar y la seguridad de su población.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

2.1.1. *Descripción de la realidad problemática*

En la región del Cusco, el adobe continúa siendo uno de los principales materiales de construcción, especialmente en las zonas rurales, debido a su bajo costo, su fácil disponibilidad y su fuerte arraigo cultural. Este material, elaborado a partir de tierra cruda, ha sido empleado durante siglos como parte esencial de la arquitectura vernácula andina, lo que refleja la estrecha relación entre la comunidad y su entorno natural. En el Perú, aproximadamente el 51,1 % de las viviendas presentan muros de tierra como material predominante, cifra que se incrementa hasta un 83,4 % en las zonas rurales (Zegarra et al., 2013). Esta tendencia demuestra la dependencia continua de las poblaciones rurales respecto de los materiales locales, pero también evidencia una vulnerabilidad significativa frente a los riesgos naturales.

A pesar de su importancia cultural y económica, las construcciones de adobe presentan limitaciones estructurales notorias. Su baja resistencia a la compresión y al corte, su elevada porosidad y su escasa capacidad para disipar energía ante eventos sísmicos las convierten en edificaciones altamente vulnerables. Como señalan Blondet et al. (2011), “las construcciones de tierra sin refuerzo colapsan durante los terremotos porque el material es

pesado, débil y frágil" (p. 3). En regiones como Cusco, caracterizadas por una intensa actividad sísmica, esta vulnerabilidad se agrava considerablemente: estudios de Brando et al. (2020) indican que las viviendas de adobe de uno y dos niveles presentan una probabilidad de colapso del 30 % y 60 %, respectivamente, ante una aceleración sísmica máxima del suelo de 0,30 g. Estos datos evidencian una necesidad urgente de mejorar el desempeño estructural de las construcciones de tierra en contextos sísmicamente activos.

Además, las condiciones climáticas propias del altiplano, caracterizadas por una fuerte variabilidad térmica y precipitaciones estacionales intensas, deterioran progresivamente los muros de adobe, provocando erosión superficial, fisuración y pérdida de cohesión. Según Vicente et al. (2016), los adobes históricos peruanos muestran resistencias a compresión "muy por debajo de los valores esperados para nuevas construcciones", lo que pone en evidencia la necesidad de introducir mejoras en la durabilidad del material (p. 214). Frente a este panorama, diferentes investigaciones han explorado la incorporación de aditivos naturales o residuos para incrementar la resistencia mecánica y la durabilidad del adobe sin alterar su naturaleza ecológica. Gutiérrez (2025) demostró que la adición de un 5 % de fibra de ichu en la mezcla de adobe permitió alcanzar una resistencia a compresión promedio de 42,75 kg/cm², valor significativamente superior al del adobe tradicional.

Sin embargo, pese a estos avances, todavía existen amplias brechas en la investigación sobre aditivos alternativos sostenibles que aprovechen los recursos locales y promuevan la economía circular. En este sentido, la madera pulverizada de residuos de parquet y el mucílago de Jahuacollay constituyen materiales potencialmente valiosos. La primera, al ser un residuo de la industria de la construcción, podría contribuir a mejorar la resistencia y estabilidad dimensional del adobe, reduciendo su fisuración. Por otro lado, el mucílago de Jahuacollay, una planta silvestre de la región andina, podría actuar como agente

aglutinante natural, aumentando la cohesión interna y la resistencia al corte del material. Además, ambos recursos no implican costos de extracción ni de procesamiento complejos, lo que refuerza su pertinencia en el contexto rural de San Jerónimo, Cusco.

Por tanto, surge la necesidad de evaluar experimentalmente la influencia de la madera pulverizada de residuos de parquet y del mucílago de Jahuacollay sobre las propiedades físicas y mecánicas del adobe. En particular, resulta necesario determinar cómo afectan a parámetros críticos como la succión, la absorción y las resistencias a compresión simple, axial y diagonal de la albañilería de adobe. Este estudio busca desarrollar un material de construcción más seguro, duradero y sostenible, que preserve las técnicas tradicionales de la arquitectura de tierra y, al mismo tiempo, responda a las exigencias estructurales y ambientales actuales. En consecuencia, la investigación pretende aportar conocimiento técnico y práctico al fortalecimiento del adobe como material constructivo en zonas rurales vulnerables, promoviendo el uso responsable de los recursos naturales y la mitigación del riesgo sísmico en la región del Cusco.

2.1.2. *Formulación del problema de investigación*

La problemática central de esta investigación se orienta a responder la siguiente interrogante: ¿Cuál es la influencia de la incorporación de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay en las propiedades físico-mecánicas de la albañilería de adobe, en comparación con el adobe tradicional, en el distrito de San Jerónimo, Cusco – 2024?

En el distrito de San Jerónimo, una proporción significativa de viviendas continúa construyéndose con adobe artesanal, un material ampliamente utilizado por su accesibilidad, pero que presenta deficiencias estructurales como baja resistencia a la compresión, alta vulnerabilidad ante la humedad y un desempeño limitado frente a movimientos sísmicos. Estas condiciones incrementan la fragilidad de las edificaciones y exponen a sus habitantes

a riesgos permanentes, especialmente en una región con antecedentes sísmicos relevantes como Cusco.

A pesar de que existen propuestas de estabilización del adobe, muchas de ellas recurren a materiales industriales o a técnicas que no son económicamente viables ni culturalmente adoptadas en zonas rurales andinas. Asimismo, la escasez de investigaciones que integren aditivos naturales y residuos maderables limita la identificación de alternativas sostenibles que mejoren de manera efectiva el comportamiento físico-mecánico del adobe bajo condiciones locales.

En este contexto, surge la necesidad de evaluar la utilización de recursos accesibles como la madera pulverizada de residuos de parquet y el mucílago de Jahuacollay, ambos disponibles en el entorno regional y con potencial para incrementar la resistencia, cohesión y estabilidad higroscópica del adobe. Su estudio permitirá determinar el grado real de mejora que estos aditivos pueden generar y su pertinencia para la construcción de viviendas más seguras y duraderas.

Finalmente, disponer de un adobe estabilizado mediante insumos locales, económicos y sostenibles contribuirá a optimizar las prácticas constructivas tradicionales, reducir los costos asociados al deterioro de las viviendas y fortalecer la seguridad estructural de la población del distrito de San Jerónimo, lo que resulta fundamental para el desarrollo habitacional y la resiliencia de la comunidad.

2.1.2.1. Problema general

¿Cuál es la influencia de la adición de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay en las propiedades físico-mecánicas de la albañilería de adobe en comparación con el adobe tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024?

2.1.2.2. Problemas específicos

P.E.1. ¿Cuál es la influencia de la adición de madera pulverizada de residuos de

parquet y mucílago de Jahuacollay en la resistencia a la compresión simple del adobe en comparación con el adobe tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024?

P.E.2. ¿Cómo influye la adición de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay en la resistencia a la compresión axial de la albañilería de adobe en comparación con la albañilería tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024?

P.E.3. ¿Cuál es la influencia de la adición de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay en la resistencia a la compresión diagonal de la albañilería de adobe en comparación con la albañilería tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024?

P.E.4. ¿Cómo influye la adición de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay en el comportamiento de la propiedad de succión del adobe en comparación con el adobe tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024?

P.E.5. ¿Cuál es la dosificación óptima de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago que mejore el comportamiento físico-mecánico de la albañilería de adobe en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. *Objetivo general*

Determinar la influencia de la adición de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay en las propiedades físico-mecánicas de la albañilería de adobe en comparación con el adobe tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

2.2.2. *Objetivos específicos*

O.E.1. Analizar la influencia de la adición de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay en la resistencia a la compresión simple del adobe en comparación con el adobe tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

O.E.2. Evaluar la influencia de la adición de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay en la resistencia a la compresión axial de la albañilería de adobe en comparación con la albañilería tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

O.E.3. Determinar la influencia de la adición de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay en la resistencia a la compresión diagonal de la albañilería de adobe en comparación con la albañilería tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

O.E.4. Evaluar la influencia de la adición de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay en la propiedad de succión del adobe en comparación con el adobe tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

O.E.5. Determinar la dosificación óptima de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay que mejore el comportamiento físico-mecánico de la albañilería de adobe en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

2.3. Justificación e importancia

2.3.1. *Justificación*

2.3.1.1. Justificación técnica.

La investigación se enfoca en evaluar el desempeño físico–mecánico del adobe empleado en las edificaciones del distrito de San Jerónimo, considerando que, según el INEI (2022), el 42 % de las viviendas utiliza este material en sus muros, lo que representa más de 3,800 unidades estructuralmente vulnerables. Frente a la ocurrencia de sismos históricos en la región Cusco, se busca analizar la mejora del adobe mediante la incorporación de madera pulverizada proveniente de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay, insumos que podrían incrementar su resistencia y reducir su sensibilidad higroscópica. Asimismo, el

estudio contribuye a cubrir brechas científicas relacionadas con el uso conjunto de aditivos naturales y residuos maderables en la estabilización del adobe.

2.3.1.2. Justificación social

La predominancia de viviendas de adobe en San Jerónimo implica que gran parte de la población habita en condiciones estructuralmente vulnerables, expuestas a deterioro por humedad, agrietamientos y efectos sísmicos. Mejorar el comportamiento del adobe mediante aditivos accesibles y de bajo costo permitirá fortalecer la seguridad de las viviendas, disminuir los costos de mantenimiento y ofrecer una alternativa constructiva más duradera y sostenible. De esta manera, la investigación beneficia directamente a las familias del distrito, especialmente a aquellas que continúan empleando técnicas tradicionales de construcción.

2.3.1.3. Justificación por viabilidad

La investigación es viable debido a la disponibilidad local de los materiales seleccionados, como el mucílago de Jahuacollay y la madera pulverizada de residuos de parquet, cuyo costo es reducido y cuyo aprovechamiento contribuye a minimizar la disposición inadecuada de residuos. Estudios previos evidencian que el uso de estos aditivos puede disminuir entre 12 % y 18 % los gastos asociados al deterioro del adobe, lo que refuerza su factibilidad económica. Asimismo, se cuenta con las condiciones técnicas y logísticas necesarias para la recolección de materiales, preparación de mezclas y ejecución de ensayos, lo que asegura el adecuado desarrollo de la investigación.

2.3.2. *Importancia*

2.3.2.1. Importancia técnica

Por importancia técnica, la investigación se orienta a la optimización del comportamiento físico–mecánico del adobe utilizado en las edificaciones del distrito de San

Jerónimo, mediante la incorporación de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay como aditivos estabilizadores. La comparación del desempeño entre el adobe artesanal y el adobe modificado permitirá validar el efecto de estos insumos naturales en parámetros como la resistencia a la compresión, la absorción de humedad y la reducción de fisuras, proporcionando así una alternativa técnica comprobada para mejorar materiales constructivos tradicionales y duraderas, adaptadas a las características climáticas y sísmicas del Cusco.

2.3.2.2. Importancia social

La importancia social de esta investigación radica en su contribución directa a la mejora de las condiciones de habitabilidad en viviendas construidas con adobe en el distrito de San Jerónimo. Al fortalecer la resistencia y durabilidad del material, se busca reducir la vulnerabilidad de estas viviendas ante eventos sísmicos, problemas de humedad y procesos de deterioro. Esto permitirá incrementar la seguridad estructural de las familias, disminuir riesgos asociados a fallas constructivas y aportar a un desarrollo urbano más seguro y sostenible en la región.

2.3.2.3. Importancia por viabilidad

La importancia por viabilidad se fundamenta en la necesidad de contar con un método accesible, económico y ambientalmente sostenible para mejorar el adobe empleado en construcciones locales. La utilización de mucílago de Jahuacollay y madera pulverizada de residuos de parquet representa una alternativa viable debido a su disponibilidad regional, bajo costo y facilidad de aplicación. Esto posibilita que los resultados de la investigación puedan ser implementados sin requerir tecnologías complejas, asegurando su adopción práctica tanto por constructores como por comunidades que emplean sistemas tradicionales de edificación.

2.3.3. *Delimitación de la investigación*

2.3.3.1. Delimitación espacial

La investigación se circunscribe geográficamente al distrito de San Jerónimo, provincia y departamento del Cusco. El estudio se desarrollará en dos escenarios distintos: primero, la zona de campo en San Jerónimo, donde se realizará la extracción del suelo y la elaboración de los adobes; y segundo, el Laboratorio de Mecánica de Suelos, a donde se trasladarán las unidades una vez curadas exclusivamente para la ejecución de los ensayos técnicos correspondientes. Esta investigación se desarrolla en dos escenarios controlados que cumplen con los criterios de selección de suelos y ensayos establecidos en la Norma Técnica Peruana E.080 "Diseño y Construcción con Tierra Reforzada".

2.3.3.2. Delimitación temporal

La investigación presenta un corte transversal y se desarrolla en el periodo comprendido entre setiembre del año 2024 y agosto del año 2025. Este intervalo temporal se ha definido para garantizar el cumplimiento integral del cronograma de investigación, permitiendo la adecuada planificación de las actividades de campo y gabinete. Dentro de este marco, se contempla la ejecución secuencial de todas las fases metodológicas, abarcando desde la recolección y caracterización de insumos, pasando por la fabricación y el proceso de curado de las unidades de albañilería, hasta la obtención final de los datos mediante los ensayos destructivos y no destructivos.

Además, se incluye estrictamente los 28 días de secado a la sombra requeridos para que las unidades de adobe alcancen su resistencia característica antes de los ensayos destructivos, tal como lo dicta el protocolo de fabricación de unidades de albañilería de la Norma E.080.

2.3.3.3. Delimitación social

Desde una perspectiva social, la investigación delimita su alcance a la población residente en el distrito de San Jerónimo y zonas periurbanas del Cusco cuyas viviendas están edificadas con adobe. El estudio se focaliza en reducir la vulnerabilidad habitacional frente a la humedad y eventos sísmicos, proponiendo una alternativa de estabilización accesible que disminuya los costos de mantenimiento y mejore la seguridad estructural.

Asimismo, se incluye como beneficiarios directos a los maestros de obra y operarios, a quienes se busca transferir una tecnología validada que aprovecha recursos locales y residuos reciclados. Finalmente, el alcance social se proyecta hacia las instituciones locales y organismos municipales, proporcionando conocimiento técnico para promover políticas de gestión de riesgos y prácticas constructivas eficientes, respetando el entorno cultural de la zona.

La investigación busca aportar una solución técnica a la problemática de la vulnerabilidad sísmica en construcciones de tierra, alineándose con los objetivos de seguridad y habitabilidad del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Se excluye el análisis sociológico de aceptación de la tecnología, centrándose puramente en la validación técnica para garantizar que las viviendas autoconstruidas con este material cumplan los mínimos de seguridad ante sismos.

2.3.3.4. Delimitación conceptual

Temáticamente, la investigación se enmarca en la línea de Tecnología de Materiales de Construcción, circunscribiéndose estrictamente al análisis de las propiedades físico-mecánicas del adobe estabilizado. El estudio evalúa la influencia del mucílago de Jahuacollay y madera pulverizada de residuos de parquet sobre el comportamiento del material, delimitando la fase experimental a los ensayos mecánicos de compresión axial, compresión de pilas y compresión de muretes, así como a las pruebas físicas de succión y

absorción.

El desarrollo experimental y el análisis de resultados se regirán bajo los estándares de calidad y procedimientos establecidos en la Norma Técnica Peruana E.080 'Diseño y Construcción con Tierra Reforzada'. Se excluyen del alcance de esta tesis los estudios complejos sobre la composición interna de los materiales o el diseño de viviendas, centrándose exclusivamente en validar la resistencia y durabilidad de la unidad de albañilería y los muretes de prueba.

Conceptualmente, la investigación se enmarca en la Ingeniería Civil y la Tecnología de Materiales, delimitándose exclusivamente a los siguientes métodos estandarizados y normativas vigentes:

Caracterización del Suelo: Se limita a la determinación de propiedades físicas mediante:

- Análisis Granulométrico por tamizado y sedimentación según la NTP 339.128 (ASTM D422).
- Límites de Consistencia (Líquido y Plástico) según la NTP 339.129 (ASTM D4318).
- Contenido de Humedad según la NTP 339.127 (ASTM D2216).

Ensayos Mecánicos: La evaluación de la mejora se circunscribe a las pruebas destructivas especificadas en la Norma E.080 (2017):

- Resistencia a la Compresión de la Unidad (Cubo).
- Resistencia a la Compresión Axial (Pilas).
- Resistencia a la Compresión Diagonal (Muretes) para medir el esfuerzo de corte.

El estudio se delimita al uso de suelo natural estabilizado con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay, excluyendo el uso de estabilizantes químicos

industriales (como asfalto o cemento Portland), para evaluar estrictamente la interacción de polímeros naturales y fibras vegetales.

2.4. Hipótesis

2.4.1. *Hipótesis general*

La adición de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay influye de manera positiva en las propiedades físico-mecánicas de la albañilería de adobe en comparación con el adobe tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

2.4.2. *Hipótesis específicas*

H.E.1. La resistencia a la compresión del adobe que contiene madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay mejora las propiedades físico-mecánicas de la albañilería de adobe en comparación con el adobe tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

H.E.2. La resistencia a la compresión axial de la albañilería de adobe elaborada con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay es mayor que la del adobe tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

H.E.3. La resistencia a la compresión diagonal de la albañilería de adobe elaborada con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay es mayor que la de la albañilería tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

H.E.4. La propiedad de succión de la albañilería de adobe que contiene madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay es menor en comparación con la del adobe tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

H.E.5. La dosificación óptima de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay mejora el comportamiento físico-mecánico de la albañilería de adobe en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

2.5. Variables

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente: Adición de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay	Es la incorporación de materiales naturales (madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay) al adobe tradicional, con el propósito de mejorar su desempeño físico y mecánico (Fernández, 2015).	Se elaboraron adobes con diferentes proporciones de aditivos: 2 %, 5 % y 7 % de madera pulverizada de residuos de parquet, combinadas con 5 %, 7 % y 10 % de mucílago de Jahuacollay, comparadas con adobe tradicional sin adición.	Composición del adobe	2 % madera pulverizada de residuos de parquet (MP) + 5 %, 7 %, 10 % mucílago de Jahuacollay (MJ) 5 % madera pulverizada de residuos de parquet (MP) + 5 %, 7 %, 10 % mucílago de Jahuacollay (MJ) 7 % madera pulverizada de residuos de parquet (MP) + 5 %, 7 %, 10 % mucílago de Jahuacollay (MJ)
Variable Dependiente: Propiedades físico-mecánicas de la albañilería de adobe	Conjunto de características que definen el comportamiento estructural y de durabilidad del adobe frente a cargas y humedad (Vilane & Hann, 2022).	Se evaluaron las propiedades de los adobes mediante ensayos de laboratorio normalizados, comparando los resultados del adobe tradicional con los de las mezclas con aditivos naturales.	Compresión axial	Resistencia a la compresión axial (kg/cm^2)
			Compresión de pilas	Resistencia a la compresión de pilas (kg/cm^2)
			Compresión de muretes	Resistencia a la compresión de muretes (kg/cm^2)
			Succión	Succión capilar ($g/cm^2 \cdot min^{1/2}$)
			Absorción	Absorción de agua (% en peso)

Nota: Definición de variables, dimensiones e indicadores basada en el diseño metodológico de la investigación.

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. *A nivel internacional*

Guerrero Rivera (2019), en su investigación titulada “Alternativas de estabilización del adobe para disminuir su contracción volumétrica y agrietamiento”, de la “Universidad De los Andes“ de Colombia, desarrolló una revisión bibliográfica orientada a identificar soluciones que mejoren el desempeño del adobe frente a la contracción, la durabilidad ante el agua y la formación de grietas, con especial atención a su impacto en la propagación de la enfermedad de Chagas. El autor comparó estabilizantes minerales, vegetales y sintéticos, concluyendo que los minerales muestran alta eficacia, pero resultan menos económicos; mientras que los estabilizantes vegetales (fibras) y sintéticos (residuos industriales) representan alternativas más accesibles y sostenibles. Los resultados reportados indican que el porcentaje de contracción de las muestras tanto estabilizadas como la muestra control fue inferior al 3 %, destacándose el uso de fibra de vidrio como alternativa viable para reducir el agrietamiento. Sin embargo, el estudio se centra en comportamiento volumétrico y fisuración, sin abordar de manera directa la resistencia de la albañilería ni la influencia combinada de aditivos orgánicos específicos como la madera pulverizada de residuos de parquet y el mucílago de Jahuacollay, aspecto que la presente investigación busca

profundizar.

Magaña Mendoza (2021) en su tesis “Mejoramiento Del Adobe, Integrando Óxido De Calcio Y Fibra De Coco Para Evaluar Sus Resistencias De Compresión, Térmica Y Absorción De Humedad“ del “Tecnologico Nacional de Mexico“ realizado en Mexico, analizó la mejora del adobe mediante la incorporación de óxido de calcio y fibra de coco, con el objetivo de proponer distintas proporciones de estos agregados para evaluar su efecto en la resistencia mecánica y el comportamiento térmico frente a un adobe tradicional. El trabajo se desarrolló bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), elaborando mezclas con diferentes dosificaciones. Los resultados evidenciaron un aumento del 180 % en la resistencia a la compresión respecto al mínimo normativo de 12 kg/cm², alcanzando valores de hasta 21 kg/cm². Asimismo, la conductividad térmica se redujo hasta 0.142 W/m·K, mientras que la resistividad térmica se incrementó en 207.72 % y la difusividad térmica se redujo en 84.61 %, mostrando un desempeño térmico claramente superior. Aunque este estudio demuestra el potencial de combinar un aditivo mineral (óxido de calcio) con una fibra vegetal (coco), su enfoque se limita al nivel de unidad de adobe y no aborda la respuesta estructural de la albañilería ni el efecto de residuos lignocelulósicos reciclados, como la madera pulverizada de residuos de parquet, combinados con mucílago de Jahuacollay, que constituyen el aporte innovador de la presente investigación.

Pino (2019), en su tesis titulada "La adición de aserrín y poliestireno en la elaboración de bloques de adobe para viviendas unifamiliares...", presentada ante la Universidad Técnica de Ambato en Ecuador, desarrolló una investigación experimental con el objetivo de determinar la influencia de estos agregados en la resistencia mecánica y el confort termoacústico. El autor elaboró unidades de adobe patrón y unidades experimentales con adiciones de 5%, 10% y 15% de aserrín y poliestireno. Es relevante destacar que, para la caracterización del suelo y los criterios de aceptación mecánica, la investigación se rigió

bajo los parámetros de la Norma E.080 "Diseño y Construcción con Tierra Reforzada", lo que homologa sus resultados al contexto normativo peruano. Los ensayos a compresión a los 28 días demostraron que todas las muestras superaron la resistencia mínima de 10.2 kg/cm² (1 MPa) exigida por la norma. El resultado más destacado se obtuvo con la adición del 5%, alcanzando una resistencia máxima de 2.66 MPa (aprox. 27 kg/cm²), superando en un 50% el mínimo requerido. Asimismo, las pruebas en cámaras térmicas y acústicas (basadas en normas chilenas NCh) evidenciaron que la incorporación del residuo de madera mejora sustancialmente el aislamiento térmico y acústico de la mampostería. Esta investigación constituye un antecedente fundamental pues valida el uso de residuos de madera (aserrín) como un estabilizante que no solo no compromete la resistencia estructural en porcentajes controlados (5%), sino que la incrementa notablemente. Esto respalda la hipótesis de la presente tesis sobre la viabilidad de utilizar madera pulverizada de parquet, sugiriendo además que este tipo de fibra aporta beneficios adicionales de habitabilidad (confort térmico) más allá de la resistencia mecánica.

Peraza, J. (2022), en su tesis doctoral titulada "Caracterización de adobes experimentales: Efecto de la adición de aditivos poliméricos en sus propiedades mecánicas", presentada ante el Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (México), tuvo como objetivo general estudiar la tecnología constructiva de la arquitectura de tierra mediante el análisis fisicoquímico y mecánico de adobes elaborados con técnicas prehispánicas, incorporando aglutinantes poliméricos sintéticos y naturales para evaluar su efecto en la cohesión y consolidación del material.La metodología empleada fue de enfoque cuantitativo y nivel experimental. Se fabricaron adobes utilizando tierra local del sitio arqueológico "La Joya" (Veracruz) y fibra de zacate pangola, añadiendo diferentes porcentajes (1% a 8%) de aditivos sintéticos (emulsión asfáltica y polímero de acetato de vinilo) y naturales (betún disuelto en aceite de linaza y maíz). La caracterización incluyó ensayos de Fluorescencia y

Difracción de Rayos X (FRX, DRX), microscopía electrónica de barrido (SEM), pruebas físicas de absorción (capilaridad y sumersión) y pruebas mecánicas destructivas de compresión, flexión e impacto, acopladas a técnicas no destructivas de Emisión Acústica para monitorear el daño interno.Los resultados mostraron que la adición de polímeros sintéticos mejoró significativamente la impermeabilidad, reduciendo la absorción de agua por capilaridad casi en su totalidad en concentraciones altas (8%) comparado con la muestra patrón que sufrió daños severos. En cuanto a las propiedades mecánicas, aunque la resistencia a la compresión no varió drásticamente en magnitud (manteniéndose alrededor de 2 MPa), los aditivos incrementaron el Módulo de Young (rigidez) y la capacidad de deformación plástica antes de la ruptura, evitando una falla frágil inmediata.El autor concluyó que los adobes estabilizados con polímeros, tanto sintéticos como naturales, presentan un mejor desempeño mecánico y mayor durabilidad frente al agua que los adobes tradicionales. Los aditivos actuaron eficazmente como agentes filmógenos que recubren las partículas de tierra, mejorando la interfaz tierra-fibra y retrasando el colapso estructural mediante una mayor absorción de energía.

Robles (2021) estudió en la tesis “Elaboración de bloques de adobe con fibras de bagazo de caña y agregado de nopal para mejorar la resistencia a compresión y durabilidad de bloques de adobe con fibra de bagazo de caña de azúcar y agregado de mucílago de nopal“, desarrollada en el “Tecnologico Nacional de Mexico“ realizado en la ciudad de Mexico, con la finalidad de evaluar su resistencia a la compresión y su durabilidad. Se diseñaron tres tratamientos experimentales y un testigo, y las pruebas mecánicas se realizaron con la máquina Shimadzu UH-500KNI, siguiendo la norma ASTM E8M. Los bloques con 10 % de fibra alcanzaron una resistencia a la compresión de 14.95 kg/cm², incrementando en 121 % respecto a los testigos; tras seis meses de almacenamiento, las mezclas con 5–10 % de fibra llegaron a resistencias de hasta 42 kg/cm², triplicando la

resistencia inicial.En cuanto a la absorción de agua, los bloques con 7 % de fibra y mucílago de nopal resistieron 24 horas de inmersión, incrementando su estabilidad en 67 %. La conductividad térmica se redujo en 38 % con 10 % de fibra (0.397 W/m·K), mejorando el confort térmico. Este antecedente es especialmente relevante porque combina fibras vegetales y un mucílago, demostrando la sinergia entre ambos tipos de aditivos. No obstante, se basa en bagazo y mucílago de nopal, en un contexto distinto al andino cusqueño, y no evalúa la respuesta de la albañilería como sistema (compresión axial y diagonal), brechas que la presente investigación aborda al utilizar madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay en condiciones propias de San Jerónimo.

3.1.2. *A nivel nacional*

Ortiz (2019), en la tesis titulada “Efectos de la incorporación de cuatro porcentajes (2.5 %, 5 %, 7.5 % y 10 %) de estiércol de caballo en la resistencia a la compresión y flexión del adobe”, desarrollada en la “Universidad Peruana del Norte“ (Cajamarca), buscó determinar cómo la adición de estiércol de caballo influye en las propiedades mecánicas del adobe. Para ello, se clasificó el material mediante el sistema SUCS y se realizaron estudios de suelos para definir las dosificaciones. Se fabricaron 100 adobes, divididos en cuatro grupos de acuerdo con el porcentaje de estiércol, y se efectuaron ensayos de compresión y flexión según la Norma Técnica Peruana NTP E.080. Los resultados mostraron una disminución del 46.82 % en la resistencia a la compresión y del 27.17 % en la resistencia a la flexión respecto al adobe sin aditivo. Ortiz concluye que el uso de estiércol de caballo no resulta beneficioso para mejorar las propiedades mecánicas del adobe, subrayando la necesidad de explorar otros aditivos. Este trabajo es útil como referencia crítica, ya que evidencia que no todos los residuos orgánicos son adecuados como estabilizantes, reforzando la pertinencia de estudiar aditivos con mayor potencial estructural, como la madera pulverizada de residuos de parquet y el mucílago de jahuacollay.

Castro (2021), en la investigación “Implementación de aditivos para mejorar la absorción y la resistencia de los adobes tradicionales en el centro poblado de Pedrosa-Amarilis-2021” de la “Universidad Nacional Hermilio Valdizan” desarrollado en la ciudad de Huánuco, evaluó el efecto de la incorporación de penca de tuna, viruta de eucalipto, cemento y cal sobre las propiedades mecánicas y de absorción del adobe. Se diseñaron diferentes mezclas con variaciones en los porcentajes de cada aditivo y se realizaron ensayos de resistencia a la compresión y absorción de agua.Los resultados mostraron que las combinaciones con 10 % de penca de tuna y 5 % de cemento alcanzaron resistencias de 12.66 kg/cm² y 13.35 kg/cm², lo que supone incrementos del 19.21 % y 25.71 % respecto al adobe tradicional (10.62 kg/cm²). En absorción, estos adobes presentaron valores de 17.82 % y 19.50 %, inferiores al 20 % y muy superiores al desempeño del adobe tradicional, que no resistió 24 horas de inmersión. No obstante, las mezclas con viruta de eucalipto y cal presentaron problemas de desmoronamiento al evaluar la absorción. Este estudio confirma que ciertos aditivos naturales pueden mejorar simultáneamente resistencia y absorción, pero también pone de manifiesto la necesidad de seleccionar cuidadosamente los materiales y dosificaciones, algo que la presente tesis aborda mediante el análisis de la madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de jahuacollay bajo un enfoque experimental sistemático.

Cerna y Velásquez (2021), con la tesis “Estudios de propiedades mecánicas del adobe con adición de viruta de madera y tereftalato de polietileno en Aquia – Ancash 2021” de la Universidad Cesar Vallejo ubicado en Ancash, resaltan la importancia del adobe en comunidades de bajos recursos y plantean mejorar sus propiedades mecánicas mediante la incorporación de viruta de madera y PET triturado en proporciones de 0 %, 5 %, 10 % y 15 %. Se elaboraron unidades, pilas y muretes de adobe y se realizaron ensayos de resistencia a la compresión y al corte. Los resultados evidenciaron incrementos significativos en la

resistencia mecánica de los elementos con aditivos en comparación con el adobe tradicional, además de beneficios ambientales al reutilizar materiales reciclados. Sin embargo, el estudio se enfoca principalmente en parámetros mecánicos, sin desarrollar en detalle el efecto sobre la succión y absorción de agua. Esta limitación refuerza la importancia de que la presente investigación integre tanto la respuesta mecánica de la albañilería como el comportamiento higroscópico del adobe modificado.

Masgo et al. (2021), en la tesis "Adobes con ceniza de cáscara de arroz aplicados a la construcción de arcos para vanos arquitectónicos sin dintel en viviendas de tierra en la Comunidad de Chinche, distrito Yanahuanca - Pasco - 2021" de la Universidad Continental en Huancayo, evaluaron la resistencia a la compresión de adobes con diferentes contenidos de ceniza de cáscara de arroz, así como su desempeño estructural en arcos sin dintel. Los ensayos se realizaron conforme a las Normas Técnicas Peruanas NTP 399.613 y NTP 399.604.

Los adobes con 40 g y 120 g de ceniza alcanzaron resistencias de 22 kg/cm² y 22.99 kg/cm², superando ampliamente el mínimo de 12 kg/cm². No obstante, se observó que incrementos mayores en la cantidad de ceniza conducen a una reducción de la resistencia. Las pruebas en arcos demostraron la viabilidad estructural de estos adobes en vanos sin dintel. Este antecedente evidencia el potencial de los residuos agroindustriales como aditivos, pero se focaliza en cenizas minerales, sin explorar el papel combinado de refuerzos orgánicos fibrosos y mucílagos, línea en la que se sitúa la presente tesis.

Hoyos Sangay (2020), en la investigación "Influencia de la fibra vegetal Ichu en la resistencia de adobes estabilizados con Cal al 20%", desarrollada en la Universidad Nacional de Cajamarca, analizó la variación de las propiedades mecánicas del adobe al incorporar fibra de ichu en diferentes longitudes (3 cm, 6 cm y 9 cm) y dosificaciones (5 g, 15 g y 25 g) sobre una mezcla base estabilizada con cal. Se elaboraron especímenes para evaluar las

propiedades de absorción, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión (tracción indirecta) en función a la cantidad de fibra añadida. Los resultados mostraron que, aunque la resistencia a la compresión disminuyó levemente al aumentar la fibra (manteniéndose sobre la norma), la resistencia a la flexión tuvo mejoras significativas de hasta un 19.6 % con las fibras de mayor longitud, evidenciando la capacidad del refuerzo vegetal para mejorar la ductilidad y evitar fallas frágiles. Este antecedente es particularmente relevante por validar el comportamiento físico-mecánico de las fibras naturales dentro de matrices de tierra estabilizada. No obstante, se orienta al uso de un estabilizante químico industrial (cal) y fibra de ichu en Cajamarca, y no considera la interacción de biopolímeros orgánicos como el mucílago de Jahuacollay ni el aprovechamiento de residuos de construcción como la madera de parquet, brecha específica que la presente investigación aborda en el contexto de San Jerónimo, Cusco.

3.1.3. *A nivel regional y local*

Medina (2022), en la tesis “Aplicación y mejoramiento de la resistencia del adobe reforzado con hojas secas de bambú en La Convención – Cusco 2022” de la Universidad Cesar Vallejo desarrollado en la Convención - Cusco, tuvo como propósito determinar la influencia de la incorporación de hojas secas de bambú en la resistencia del adobe, analizando unidades y pilas de albañilería. El estudio, de enfoque experimental y descriptivo, incluyó ensayos de resistencia a la compresión y pruebas de flexo-tracción. Los resultados evidenciaron que la adición de 15 % de hojas secas de bambú incrementó la resistencia a la compresión en 26.21 % para unidades de adobe y en 15.81 % para pilas, además de un aumento del 53.38 % en la resistencia a la flexo-tracción. Esto confirma el potencial del bambú como refuerzo vegetal local. Sin embargo, el estudio se concentra en el comportamiento mecánico y no profundiza en parámetros higroscópicos como succión y absorción, ni en el uso de otros residuos lignocelulósicos presentes en la región, aspectos

que la presente tesis incorpora mediante el uso de la madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de jahuacollay.

Arotaipe y Lecaros (2022), en la investigación “Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del adobe con reemplazo de ichu por fibra de cabuya”, desarrollada en la Universidad Andina del Cusco en la ciudad del Cusco, analizaron la variación de las propiedades físico-mecánicas del adobe al sustituir progresivamente el ichu por fibra de cabuya en el sector de Quispiquilla, distrito de San Sebastián. Se prepararon 125 adobes con distintas combinaciones de tierra, paja e incrementos de fibra de cabuya (0 %, 25 %, 50 %, 75 % y 100 % en reemplazo del ichu), y se realizaron ensayos de peso unitario, absorción, succión, desgaste por erosión acelerada Swinburne, resistencia a la compresión y tracción. Los resultados mostraron mejoras significativas en la resistencia a la compresión y tracción a medida que se incrementaba el porcentaje de fibra de cabuya, evidenciando su viabilidad como sustituto del ichu en la fabricación de adobes. Este antecedente es particularmente relevante por su enfoque en fibras locales y por la evaluación conjunta de propiedades mecánicas y de durabilidad. No obstante, se orienta exclusivamente a la sustitución de fibras en la paja tradicional y no considera la incorporación de residuos industriales de madera pulverizada de residuos de parquet ni de mucílagos regionales, brecha específica que la presente investigación aborda en el contexto de San Jerónimo, Cusco.

Tabla 2

Tabla de comparación de antecedentes.

Autor / Año	País / Nivel	Aditivo(s) evaluado(s)	Dosificación o rangos estudiados	Parámetros evaluados	Resultados principales	Comentario crítico y relación con la presente tesis
Guerrero Rivera (2019)	Internacional	Estabilizantes minerales, vegetales y sintéticos (revisión)	No aplica	Contracción, agrietamiento, durabilidad	Contracción < 3 % con diversos estabilizantes; fibras y sintéticos más económicos y sostenibles	El estudio proporciona un marco general sobre estabilizantes en adobe, evidenciando mejoras en contracción y durabilidad; sin embargo, su enfoque es predominantemente descriptivo y no profundiza en mecanismos físico-químicos específicos de aditivos orgánicos. Además, no analiza combinaciones de fibras lignocelulósicas con agentes gelificantes naturales. Esta limitación abre una brecha que la presente tesis aborda mediante la evaluación controlada de residuos maderables combinados con mucílago, incorporando parámetros higroscópicos no desarrollados en la revisión.
Magaña Mendoza (2021)	Internacional	Óxido de calcio + fibra de coco	10–20 % agregados	f'c, conductividad térmica, difusividad	f'c ≈ 21 kg/cm² (180 % > mínimo); mejoras térmicas significativas	Útil como referencia de mezcla fibra + mineral; no usa residuos lignocelulósicos ni mucílago, brecha cubierta por esta tesis.
Pino (2019)	Internacional	Aserrín y poliestireno	5%, 10% y 15% de aserrín y poliestireno.	f'c, de muretes, variación térmica y acustica	f'c máximo 27 kg/cm², superando en un 50% la resistencia mínima	Concluye que el aserrín y el poliestireno son viables como estabilizantes que el prototipo óptimo fue el de 5% de adición, ya que maximiza la resistencia mecánica sin perder las propiedades de confort termoacústico
Peraza, J. (2022)	Internacional	Emulsión asfáltica, acetato de vinilo, betún/linaza y maíz	1% al 8% de aditivos.	Compresión, flexión y emisión acústica	f'c máxima: 19.8 kg/cm²; mejores resultados con 20 %	Guarda una estrecha relación con mi estudio, ya que ambos abordan la estabilización química y física de la matriz de tierra, aunque desde enfoques opuestos pero complementarios.
Robles (2021)	Internacional	Fibra de bagazo + mucílago de nopal	5–10 % fibra + mucílago	f'c, absorción, durabilidad, térmico	f'c inicial 14.95 kg/cm²; hasta 42 kg/cm² a 6 meses; absorción mejorada; –38 % conductividad	Similar enfoque fibra + mucílago, pero usa otros materiales; no evalúa compresión axial/diagonal ni el contexto andino.
Ortiz (2019)	Nacional	Estiércol de caballo	2.5 %, 5 %, 7.5 %, 10 %	f'c, flexión	f'c ↓ 46.82 %; flexión ↓ 27.17 %	Este estudio muestra una disminución significativa de la resistencia mecánica al incorporar estiércol de caballo, lo

						que evidencia que no todo residuo orgánico resulta beneficioso para el adobe. Este antecedente refuerza la necesidad de seleccionar aditivos orgánicos con estabilidad química y capacidad de interacción superficial, criterio que sustenta la elección del mucílago y la viruta de madera en la presente investigación.
Castro (2021)	Nacional	Penca de tuna, viruta, cemento, cal	Mejor: 10 % tuna + 5 % cemento	f'c, absorción	f'c ≈ 12.66–13.35 kg/cm²; absorción 17.82–19.50 %	Aditivos naturales mejoran propiedades, pero algunos fallan; tu tesis incorpora control en succión–absorción y mezcla lignocelulósica + mucílago.
Cerna & Velásquez (2021)	Nacional	Viruta de madera + PET	0 %, 5 %, 10 %, 15 %	f'c, corte	Mejora significativa de f'c y corte	Útil como antecedente de uso de madera reciclada; no evalúa succión/absorción ni mucílago. Tu tesis cubre ese vacío.
Masgo et al. (2021)	Nacional	Ceniza de cáscara de arroz	40 g y 120 g por adobe	f'c de unidades, prueba de arcos	f'c ≈ 22–22.99 kg/cm²; exceso de ceniza ↓ f'c	Enfocado en cenizas, no en fibras orgánicas ni mucílago; no evalúa comportamiento higroscópico.
Hoyos Sangay (2020)	Nacional	Fibra vegetal de Ichu (Stipa Ichu) + Cal.	Fibra de ichu 5 g, 15 g y 25 g + Cal fija al 20%	f'c, flexión y absorción	f'c sin aditivo: 17 kg/cm²; con aditivo ↓ a ~14.49 kg/cm²; absorción deficiente, flexión aumento de 19.6% respecto al patrón	Los resultados permiten predecir que la inclusión de residuos de madera (parquet) en la presente tesis tendrá un efecto similar: mejorar la ductilidad y resistencia a la flexión, posiblemente sacrificando una fracción de resistencia a la compresión. Asimismo, permite contrastar la eficiencia de un estabilizante industrial (cal) frente a la propuesta ecológica del mucílago de Jahuacollay, destacando la búsqueda de soluciones más sostenibles en el contexto de Cusco.
Medina (2022)	Regional (Cusco)	Hojas secas de bambú	15 %	f'c de unidades/pilas, flexo-tracción	+26.21 % en unidades, +53.38 % en flexo-tracción	Útil en fibras locales, pero no analiza succión–absorción ni residuos lignocelulósicos industriales.
Arotaipe & Lecaros (2022)	Local (Cusco)	Fibra de cabuya (reemplazo de ichu)	0–100 % reemplazo	f'c, tracción, succión, absorción, desgaste	Mejora f'c y tracción; variaciones en absorción y succión	Sus evaluaciones se concentran en propiedades mecánicas generales y térmicas, sin un análisis integral del comportamiento higroscópico ni de la succión capilar. Asimismo, los materiales empleados difieren del contexto andino específico y de los residuos lignocelulósicos industriales. La presente tesis amplía estos enfoques al integrar parámetros de absorción, succión y compatibilidad material en un entorno local específico.

Nota: Síntesis de las investigaciones previas nacionales e internacionales más relevantes para el estudio.

El análisis conjunto de los antecedentes evidencia que la incorporación de aditivos en el adobe no garantiza, por sí sola, una mejora de sus propiedades físicas y mecánicas. Mientras algunos estudios reportan incrementos significativos en resistencia y durabilidad mediante el uso de fibras vegetales y estabilizantes, otros demuestran pérdidas de desempeño cuando los aditivos presentan incompatibilidad química, exceso de dosificación o inestabilidad orgánica.

Asimismo, se observa que gran parte de las investigaciones prioriza la resistencia a compresión, dejando en segundo plano el comportamiento higroscópico, la succión capilar y los mecanismos de interacción entre la matriz arcillosa y los aditivos orgánicos. Pocos estudios analizan combinaciones de fibras lignocelulósicas con agentes naturales gelificantes, y menos aún lo hacen considerando residuos industriales locales y condiciones climáticas andinas.

En este contexto, se identifica una brecha de investigación relacionada con la evaluación integral de sistemas orgánicos compatibles con el adobe tradicional, que permitan mejorar simultáneamente la cohesión interna, reducir la absorción de agua y controlar la fisuración durante el secado. La presente tesis se plantea precisamente cubrir esta brecha, mediante el estudio del uso combinado madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de jahuacollay, incorporando parámetros mecánicos e higroscópicos bajo un enfoque contextualizado al ámbito local.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. *Adobe*

Según la norma técnica peruana E080 el adobe se define como un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos.

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

Cuando al adobe se incorporan otros materiales (asfalto, cemento, cal, etc.) con el fin de mejorar sus condiciones de resistencia a la compresión y estabilidad ante la presencia de humedad, se le denomina adobe estabilizado. (Dirección nacional de construcción, Manual de Construcción Edificaciones Antisísmicas de Adobe, 2017)

La gradación del suelo debe aproximarse a un porcentaje de arcilla del orden de 10% a 20%, limo entre 15 a 25% y arena entre 55 a 70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos. (Reglamento nacional de edificaciones, 2006)

3.2.2. *Caracterización del adobe*

Según la NTP E080 el adobe es la técnica de construcción que utiliza muros de albañilería de adobes secos asentados con mortero de barro.

El adobe no solo destaca por su baja conductividad térmica, que proporciona ambientes confortables, sino también por su practicidad. Una de sus grandes ventajas es la disponibilidad de materia prima en el mismo lugar de construcción, lo que elimina costos significativos de transporte, especialmente considerando la gran cantidad de material requerida para levantar edificaciones.

Si bien en la actualidad existen maquinarias para la fabricación de adobes, el proceso puede seguir siendo completamente artesanal. Una de las técnicas más rudimentarias

consiste en formar bolas de barro y arrojarlas con fuerza contra la pared en construcción, permitiendo que la estructura crezca capa por capa. Todo este procedimiento puede realizarse manualmente, sin necesidad de herramientas sofisticadas, utilizando apenas una pala de madera o una canasta de fibra.

Por otro lado, las limitaciones del adobe también son bien conocidas. Su alta capacidad de absorción de humedad hace que, en ambientes saturados, pierda resistencia estructural. En climas tropicales, tras varios días de lluvia ininterrumpida, algunas paredes pueden colapsar únicamente por efecto de la humedad, sin necesidad de otras fuerzas externas.

3.2.3. *Materiales que constituyen el adobe*

Según se menciona (Hadzich, 2000) los materiales básicos para la fabricación de adobe se dan a partir del barro compuesto por arcilla, arena, granilla y agua, además, se menciona que no todos los suelos son adecuados para preparar la mezclade esta mezcla se agrega la paja para que este forme el adobe

El adobe posee diferentes medios de elaboración, por lo cual no solo se deben comprender los materiales que lo componen únicamente, sino el lugar y entorno donde se llevará a cabo la construcción, en consideración con los diversos factores antes mencionados, se realizará en detalle una descripción de los diferentes componentes y procesos para ser utilizados en una construcción que permita cumplir con los estándares apropiados.

La mezcla a base de pasto seco (paja) con barro permite una correcta aglutinación, gran resistencia a la intemperie y evita que los bloques una vez solidificados tiendan a agrietarse. Posteriormente los bloques se adhieren entre sí con barro.

3.2.4. *Características*

3.2.4.1. Componentes del adobe

La correcta gradación del suelo es esencial para la fabricación de adobes de calidad en el Perú. Según la Norma Técnica Peruana E.080 "Adobe" del año 2000 indicaba que la composición ideal de la tierra para elaborar adobes debe contener:

Arcilla: 10% a 20%

Limo: 15% a 25%

Arena: 55% a 70%

Estas proporciones aseguran una mezcla equilibrada que proporciona cohesión, plasticidad y resistencia al material. La arcilla actúa como aglutinante, el limo mejora la trabajabilidad y la arena aporta estabilidad, reduciendo la contracción durante el secado. Es fundamental evitar suelos con alto contenido de materia orgánica, ya que pueden comprometer la durabilidad del adobe.

3.2.4.2. Selección de materiales

Según lo mencionan Morales et al. (1993):

- Se pueden identificar fácilmente las tierras inadecuadas por su color y sabor.
- Tierra con materia orgánica: color negruzco.
- Tierras salitrosas: color blanquecino y sabor salado.
- Existen pruebas sencillas que se puede hacer in situ, son pruebas cuyos resultados nos darán a conocer la calidad de la tierra y si es para fabricar adobes.
- Prueba de Granulometría que sirve para determinar la proporción de los componentes principales (arena, limos y arcillas) de la tierra.
- Prueba de plasticidad que sirve para determinar la calidad de la tierra y nos permite saber si esta es arcillosa, arenosa o arcillo-arenosa. La tierra arenosa es inadecuada, la tierra arcillo-arenosa es adecuada y la tierra arcillosa es inadecuada.
- Prueba de resistencia si las pruebas no indican que hay baja resistencia la tierra es inadecuada, si la tierra posee mediana o alta resistencia es apta para la elaboración del

adobe.

3.2.5. *Análisis granulométrico*

Según lo indica Morales et al. (1993), se debe realizar los siguientes procedimientos llenar con tierra tamizada (tamiz n°4) una botella de boca ancha hasta la mitad de su altura. Llenar la parte restante con agua limpia. Agitar vigorosamente la botella hasta que todas las partículas de la tierra estén en suspensión. Poner la botella sobre una superficie plana y esperar que las partículas de arena reposen al fondo. Todas las partículas de arena reposaran inmediatamente. Las partículas de limos y arcilla durante algunas horas. Finalmente medir las capas para determinar la proporción de arena y limos con arcilla. Se recomienda que la cantidad de arena fluctué entre 1,5 a 3 veces la cantidad de limos y arcilla. Por ejemplo, si tenemos una altura de 3 cm con limos y acilla, la altura de la arena deberá estar comprendida entre 4,5 a 9 cm.

3.2.6. *Análisis de plasticidad*

El análisis de plasticidad es un procedimiento sencillo que permite determinar la capacidad de deformación de la tierra y su comportamiento al ser moldeada, lo cual es fundamental para evaluar su aptitud en la fabricación de adobes. De acuerdo con el método propuesto por Morales et al. (1993), la prueba consiste en humedecer la tierra hasta obtener una masa uniforme y formar con ella un rollo o "roto" de aproximadamente 1,5 cm de diámetro. Posteriormente, el rollo se suspende en el aire sujetándolo por uno de sus extremos y se mide la longitud del tramo que se desprende al romperse por su propio peso. Este comportamiento permite clasificar la tierra según su plasticidad y su idoneidad para la construcción.

Los resultados se interpretan de la siguiente manera:

- Tierra Arenosa (0 a 5 cm): presenta muy baja plasticidad, se rompe rápidamente y no retiene cohesión, por lo que es inadecuada para la elaboración de adobes.

- Tierra Arcillo–Arenosa (5 a 15 cm): muestra una plasticidad moderada y adecuada, manteniendo cohesión suficiente antes de romperse, por lo que es apropiada para la fabricación de adobes.
- Tierra Arcillosa (más de 15 cm): posee una plasticidad excesiva que puede generar deformaciones, retracción y fisuración durante el secado, por lo que no es recomendable para la producción de adobes.

3.2.7. *Análisis de resistencia*

El análisis de resistencia es un procedimiento práctico que permite evaluar la cohesión y compactibilidad de la mezcla de tierra destinada a la fabricación de adobes. El método consiste en amasar la tierra previamente humedecida y moldear cinco discos de aproximadamente 3 cm de diámetro y 1,5 cm de espesor. Estos especímenes se dejan secar durante 48 horas en un ambiente ventilado y sin exposición directa al sol, con el fin de garantizar un secado uniforme. Transcurrido este tiempo, cada disco se somete a una prueba manual de rotura para valorar su nivel de resistencia, siguiendo los criterios descritos por Morales et al. (1993).

Se distinguen dos resultados posibles:

- Baja resistencia (inadecuado): el disco se deforma o se aplasta con facilidad, lo que indica una mezcla con poca cohesión y, por tanto, no apta para la elaboración de adobes.
- Mediana resistencia (adecuado): el disco requiere una presión moderada para romperse o se fractura emitiendo un sonido seco, señal de que la mezcla posee una estructura interna suficientemente firme para su uso en la construcción de adobes.

3.2.8. *Adobe estabilizado*

Según lo menciona Morales et al. (1993), El siguiente paso es la estabilización del suelo, la arcilla en presencia de la humedad experimenta cambios de volumen que son necesarios controlar, este aumento se produce cuando se tiene agua y disminuye cuando se

seca. Este fenómeno origina erosión de los adobes y por lo tanto, la perdida de estabilidad y resistencia en los muros.

En nuestro medio se utilizan como estabilizadores para dar impermeabilizar al adobe los siguientes productos industriales. Asfalto (en una proporción de 1 a 3%), cemento (10 a 12%) o cal (15 a 20%). Estos productos mejoran la calidad del adobe, pero elevan su costo de 3 a 4 veces más. Una alternativa a aquellos, es utilizar estabilizadores únicamente en la tierra que será destinada al tarrajeo de muros. Otra alternativa de disminuir los costos seria utilizar estabilizadores de precedencia vegetal.

3.2.9. *Ventajas de la utilización del adobe*

El adobe ha sido un material de construcción fundamental en el Perú durante siglos, especialmente en zonas rurales. Su uso se debe a diversas ventajas que ofrece en el contexto peruano:

Según su disponibilidad y bajo costo (Guerrero, 2014) manifiesta que a diferencia de otros materiales cuya rigidez dificulta su manejo, los elementos constructivos de tierra permiten la inyección de grietas, la reposición de piezas dañadas, así como modificaciones estructurales y espaciales, sin ninguna dificultad técnica, siempre y cuando se realice con materiales compatibles con la tierra tanto física como químicamente.

Asimismo, las construcciones con adobe son muy económicas en los sitios en que los suelos tienen adecuadas relaciones granulométricas y perviven las tradiciones constructivas, como sucede en la mayor parte del territorio nacional.

Para el aislamiento térmico y confort (Cespedes, 2006) manifiesta que al adobe se le ha denominado bio-climático, por tener la característica de conservar, en forma natural, un ambiente con temperatura agradable. El cambio de temperatura que se da entre la parte externa y la interna de una construcción de adobe corresponde a un diferencial térmico que se produce en el material al almacenar y transferir la temperatura ambiental. La energía solar

que incide sobre una pared externa de adobe se devuelve al ambiente en un determinado porcentaje y otra parte es absorbida por el material transmitiéndose al interior de la vivienda.

Es reutilizable según (Figueroa, 2011) manifiesta que el barro crudo puede ser reutilizado indefinidamente como material de construcción con solo remojarlo en agua, con lo que nunca se convertirá en un material de desecho que dañe al medio ambiente debido al ahorro de energía y de muchos recursos naturales necesario para la fabricación de otros materiales

Genera ahorro en transporte y materiales (Alday, 2014) menciona que el material para construir el adobe se suele encontrar in situ esto genera una de las grandes ventajas ya que su costo como material y su transporte es cero. La tierra obtenida de las excavaciones para la cimentación se puede usar para la construcción, lo cual reduce costes de movimiento de tierra, materiales. Los 35 revestimiento o y terminaciones están hechas a base de tierra por lo que también se ahora en este ítem.

3.2.10. *Comportamiento mecánico del adobe como material frágil*

El adobe es un material compuesto natural formado por una matriz arcillosa y un esqueleto granular de arena, con ocasionales fibras vegetales. Debido a su microestructura porosa y a la limitada cohesión entre partículas, exhibe un comportamiento mecánico eminentemente frágil, caracterizado por una baja capacidad de deformación antes de la falla. Estudios recientes confirman que los materiales de tierra presentan modos de falla dominados por tracción y corte, con una limitada ductilidad y una rápida pérdida de capacidad portante una vez alcanzado el esfuerzo máximo (Zhao et al., 2021).

En el caso del adobe, la cohesión proviene de las fuerzas capilares y la cementación arcillosa, mientras que la fricción se relaciona con el contenido de arena y el entrelazamiento interno. Fibras y materiales lignocelulósicos pueden mejorar el comportamiento mecánico mediante mecanismos de puenteo de grietas, aumentando la cohesión y la tenacidad (Meng

et al., 2023).

Adicionalmente, la fractura del adobe suele modelarse bajo el enfoque de fractura frágil o mecánica de fractura lineal elástica (LEFM), en el cual la falla se inicia en microfisuras preexistentes y se propaga rápidamente cuando el factor de intensidad de esfuerzos K1 supera su tenacidad KIC. Esto explica por qué las unidades presentan poca capacidad post-falla, especialmente bajo compresión diagonal y cortante.

3.2.11. *Absorción y succión en el adobe*

La absorción y succión del adobe están gobernadas por el movimiento capilar del agua dentro de los poros finos de la matriz arcillosa. Este fenómeno puede explicarse mediante la ecuación de Washburn, ampliamente utilizada para describir el ascenso capilar en medios porosos (Kollias et al., 2022):

La incorporación de fibras o mucílagos puede alterar significativamente la red porosa:

- Las fibras lignocelulósicas generan poros mayores, reduciendo la succión inicial.
- Los mucílagos pueden generar biopelículas o geles naturales que sellan microcapilares, reduciendo la absorción (Santos et al., 2021).

Por ello, el estudio conjunto de succión y absorción es crucial en adobes estabilizados.

3.2.12. *Contracción por secado y formación de grietas*

La contracción por secado es un fenómeno inherente al adobe y se produce cuando el agua contenida en su matriz arcillosa comienza a evaporarse, generando una reducción progresiva del volumen interno. Este proceso es especialmente pronunciado en suelos con elevado contenido de arcilla, ya que estos minerales presentan una marcada capacidad de hinchamiento y encogimiento. De acuerdo con Gupta y Sharma (2022), la retracción se desarrolla de manera gradual y puede entenderse como una secuencia continua que inicia

con la evaporación libre del agua superficial, continúa con la contracción capilar cuando la tensión superficial del agua dentro de los poros ejerce fuerzas internas que aproximan las partículas sólidas y culmina con una etapa de contracción residual, en la que la microestructura alcanza un estado de equilibrio.

Cuando estas tensiones internas superan la limitada resistencia a tracción del adobe, se originan fisuras de secado que comprometen su integridad mecánica. Las grietas no solo disminuyen la capacidad portante, sino que también favorecen la absorción y el ingreso de humedad, acelerando los procesos de deterioro. Diversos estudios han demostrado que la incorporación de fibras lignocelulósicas puede mitigar este comportamiento, ya que actúan como puentes de transferencia de carga y restringen la propagación de microfisuras. En este sentido, la madera pulverizada de residuos de parquet cumple un rol estructural clave, al aumentar la tenacidad del material y disminuir la magnitud de la contracción al secar, contribuyendo a la estabilidad dimensional del adobe modificado.

3.2.13. *Bioestabilizacion y mecanismos de mejora por materiales orgánicos*

La bioestabilización de suelos constituye una línea de investigación emergente que aprovecha la acción de compuestos orgánicos y microorganismos para mejorar la resistencia, cohesión y comportamiento hidráulico de materiales geotécnicos. Los avances recientes en geotecnia biológica han permitido identificar mecanismos como la biocementación y el bioclogging, procesos capaces de modificar significativamente la microestructura de los suelos (Martínez et al., 2023; Salifu et al., 2022).

La biocementación se basa en la formación de nuevos cementantes minerales como el carbonato de calcio a través de reacciones biológicas que incrementan la cohesión entre partículas. Si bien este mecanismo no se utiliza de manera directa en la producción artesanal de adobe, sus principios ayudan a comprender cómo ciertas sustancias de origen vegetal, como los mucílagos, pueden fortalecer la matriz arcillosa al generar enlaces adicionales entre

sus componentes.

Por su parte, el bioclogging consiste en la reducción de la permeabilidad debido a la acumulación de geles, biopolímeros o biopelículas que obstruyen los espacios porosos. En el caso de los mucílagos vegetales incluyendo el mucílago de Jahuacollay su comportamiento es similar: al entrar en contacto con el agua forman soluciones viscosas capaces de rellenar microcapilares, incrementar la resistencia interna al flujo y disminuir de manera notable tanto la succión como la absorción del adobe. Souza et al. (2021) reportan que estos compuestos naturales también incrementan la durabilidad frente a ciclos de humectación y secado, actuando como agentes protectores.

Cuando estos biopolímeros se combinan con fibras lignocelulósicas, como la madera pulverizada de residuos de parquet, se obtiene un doble beneficio. La fibra aporta resistencia mecánica y capacidad de puenteo, mientras que el mucílago contribuye a la cohesión y al sellado de poros, generando un material más estable mecánica e higroscópicamente, adecuado para regiones donde la humedad representa un riesgo significativo para las construcciones de tierra.

3.2.14. *Estabilización del adobe.*

Según indica (Alday, 2014) En el caso del adobe estabilizado el material estabilizador disminuye el problema técnico fundamental que presenta el adobe simple, esto es, su baja resistencia a la humedad.

Estabilizar el suelo es modificar las propiedades de un sistema tierra-agua-aire para que se obtengan propiedades que le hagan compatible con su aplicación. En la estabilización intervienen numerosos parámetros, por lo que es necesario tener un conocimiento de factores tales como las propiedades del suelo que se quiere estabilizar, las propiedades finales que se requieren, la economía del proyecto, las técnicas para utilizar el suelo seleccionado en el proyecto, así como el sistema constructivo y el costo de conservación.

3.2.15. *Aditivos para la estabilización*

Existen diversos aditivos que se pueden añadir a la mezcla de adobe dentro de los cuales se encuentran los aglomerantes hidráulicos según (Castro, 2021) menciona que la adición de cemento o cal a la mezcla de tierra incrementa la resistencia a la compresión y disminuye la absorción de agua en los adobes.

Además, se tienen aditivos naturales según (Castro, 2021) menciona que se le incorpora aditivos naturales como: goma de tuna, sangre de toro, paja, cascara de arroz, estiércol de vaca, etc., con el objetivo de mejorar su resistencia a compresión y a la humedad.

Estos estudios evidencian que la incorporación de aditivos en la fabricación del adobe representa una solución eficiente para mejorar su desempeño estructural y su resistencia a condiciones adversas, permitiendo su aplicación en edificaciones más seguras y sostenibles.

3.2.16. *El jahuacollay*

El jahuacollay (Fernández, 2015) conocido también como Cuscoenzis Trichocereus, es un cactus columnar largo y de crecimiento rápido que contiene, entre otros alcaloides, mezcalina, es de crecimiento rápido, originario de las laderas occidentales de los Andes en Perú, se encuentra a una altitud de entre 2000 a 3000 msnm.

Es un cactus columnar originario de la región de Cusco, Perú. Esta especie puede alcanzar alturas de hasta 5 a 6 metros y se caracteriza por sus tallos cilíndricos de color verde, con 7 a 8 costillas bajas y redondeadas. Las areolas están espaciadas entre 1 y 1.5 centímetros, presentando aproximadamente doce espinas robustas y rígidas, que pueden medir hasta 7 centímetros de longitud y tienen una base engrosada.

Los parámetros de crecimiento del Jahuacollay son los mismos. Se diferencian de la mayoría de cactus columnares en su rápido crecimiento, y les gusta una mezcla rica de nutrientes en el suelo y riegos más frecuentes que la mayoría de los cactus. Son bastante duros, y crecerán bien en un amplio rango de condiciones

En resumen, el *Trichocereus cuzcoensis* destaca por sus aplicaciones en la remediación ambiental y su profunda importancia cultural en los Andes peruanos. Su estudio continúa ofreciendo perspectivas valiosas en campos como la ecología, la química y la antropología.

3.2.17. *Mucílago*

El mucílago es una sustancia natural que muchas plantas producen para protegerse de la deshidratación. Químicamente, está compuesto por polisacáridos hidrofílicos de alto peso molecular, entre los que destacan arabinanos, galactanos, xilanos y pectinas en diferentes proporciones. Estos compuestos poseen grupos funcionales como hidroxilos (–OH) y carboxilos (–COOH), que son los responsables de su afinidad por el agua y de su capacidad para interactuar con otros materiales (Villa et al., 2020).

Cuando el mucílago entra en contacto con agua, sus cadenas polisacarídicas comienzan a hidratarse y a expandirse, formando un gel suave y estable. Esta gelificación no solo incrementa su volumen, sino que le permite comportarse como un aglutinante natural, ya que envuelve y conecta las partículas del suelo de una forma muy similar a como lo hacen algunas gomas vegetales. Según Vera y Manzaba (2019), esta fase gelificada ayuda a estabilizar la mezcla y favorece la cohesión interna durante el proceso de secado.

Este comportamiento tiene un significado especial cuando se utiliza en materiales como el adobe. En primer lugar, los grupos hidroxilos del mucílago pueden establecer puentes de hidrógeno con las superficies de las partículas arcillosas, generando una adhesión adicional que mejora la cohesión del material. Investigaciones recientes muestran que este tipo de interacciones polisacárido–arcilla contribuyen a aumentar la resistencia del material y a reducir la aparición de fisuras durante el secado (Pérez-López et al., 2021).

En segundo lugar, el gel formado por el mucílago actúa como una especie de moderador natural de la humedad, permitiendo que el adobe pierda agua de manera más

uniforme y menos brusca. Esto ayuda a evitar deformaciones y reduce la retracción, lo cual es especialmente importante en zonas donde el adobe tradicional presenta agrietamientos desde las primeras horas de secado.

Un tercer mecanismo importante es su capacidad para sellar parcialmente los poros del material. Al secarse, el mucílago deja una fina película que recubre los espacios interparticulares y reduce la permeabilidad del adobe. Esta película disminuye la succión capilar y la absorción global del material, haciéndolo menos vulnerable a la acción del agua. Este efecto ha sido identificado en estudios sobre mucílagos aplicados en matrices arcillosas, donde se evidencia una reducción significativa de la higroscopicidad gracias a la formación de capas polisacarídicas continuas (Rodríguez-Medina et al., 2022).

Por todo ello, el mucílago no solo aporta cohesión durante el proceso de moldeo y secado, sino que también contribuye a mejorar el comportamiento del adobe frente a la humedad y la degradación. Su carácter biodegradable, su disponibilidad local y su bajo costo lo convierten en una alternativa sostenible para reforzar materiales tradicionales, especialmente en zonas rurales donde se busca mejorar el desempeño del adobe sin incrementar de manera significativa los costos de construcción.

Desde una perspectiva química y funcional, el comportamiento del mucílago vegetal en contacto con materiales arcillosos no se explica a partir de reacciones químicas clásicas, sino principalmente mediante interacciones fisicoquímicas superficiales que se desarrollan entre las cadenas polisacarídicas del mucílago y las partículas del suelo. Estas interacciones, aunque no implican la formación de nuevos compuestos, cumplen un rol determinante en la mejora del desempeño del adobe.

Uno de los mecanismos más relevantes corresponde a la formación de puentes de hidrógeno. Las partículas de arcilla presentan en su superficie grupos hidroxilo (≡Si–OH y ≡Al–OH), mientras que los polisacáridos del mucílago contienen numerosos grupos –OH a

lo largo de sus cadenas moleculares. Cuando ambos materiales entran en contacto, estos grupos pueden asociarse mediante enlaces débiles de hidrógeno, generando una unión adicional entre las partículas, la cual puede representarse de manera simplificada como:

Arcilla–OH···HO–Polisacárido

Este tipo de interacción favorece una mayor cohesión interna del material, ya que contribuye a mantener unidas las partículas durante el proceso de secado, reduciendo la probabilidad de fisuración temprana.

Adicionalmente, algunos componentes del mucílago poseen grupos carboxilo (–COOH) que, bajo determinadas condiciones, pueden ionizarse parcialmente y generar grupos carboxilato ($–COO^-$). Estos grupos pueden interactuar con cationes presentes en las arcillas, como calcio o magnesio, formando enlaces de tipo electrostático que actúan como puentes entre la fase orgánica y la fase mineral. Este fenómeno puede expresarse de forma conceptual mediante la siguiente relación:

$$\text{Arcilla–Ca}^{2+} + \text{–COO}^- \rightarrow \text{Arcilla–Ca–OOC–R}$$

Estas interacciones contribuyen a la formación de una estructura más integrada y estable, lo que se traduce en una mejora de la resistencia mecánica y en una mayor durabilidad del material frente a la acción del agua.

Otro aspecto importante es el efecto de gelificación del mucílago. Al hidratarse, el mucílago forma un gel que se distribuye entre las partículas del adobe, envolviéndolas y ocupando parcialmente los espacios vacíos. Durante el secado, este gel se reorganiza y deja una película delgada que recubre los poros y las superficies interparticulares. Este proceso puede entenderse como un fenómeno de adsorción superficial, representado de manera general como:

$$\text{Arcilla} + \text{Polisacárido(gel)} \rightarrow \text{Arcilla Polisacárido}$$

La presencia de esta película orgánica limita la absorción de agua y reduce la succión

capilar, ayudando a que el adobe presente un comportamiento más estable frente a la humedad.

En conjunto, el aporte del mucílago al comportamiento del adobe puede interpretarse como el resultado de una acción combinada: la generación de puentes de hidrógeno que mejoran la cohesión, la interacción electrostática que refuerza la estructura interna y el sellado parcial de los poros que reduce la permeabilidad. Estos mecanismos explican de manera coherente por qué la incorporación de mucílago contribuye a disminuir la fisuración, mejorar la resistencia y aumentar la durabilidad del adobe.

3.2.18. *Madera pulverizada de residuos de parquet*

La madera pulverizada proveniente de residuos de parquet constituye un material lignocelulósico rico en celulosa, hemicelulosa y lignina, componentes que le confieren una estructura interna resistente y estable. Estos residuos se originan principalmente durante la fabricación e instalación de pisos de parquet, que comúnmente emplean maderas duras como roble, cedro, tornillo o makoré. Debido a su dureza natural y su alto contenido de fibras orientadas, este tipo de residuo presenta un gran potencial para ser utilizado como refuerzo en materiales compuestos de base mineral, como el adobe (Peñalba & Pérez, 2022).

Desde la perspectiva de la ciencia de los materiales, la incorporación de madera pulverizada de residuos de parquet al adobe puede comprenderse a través del modelo matriz–refuerzo propio de los materiales compuestos. En este sistema, la matriz corresponde a la mezcla arcillosa–arenosa del adobe, mientras que las partículas o fibras lignocelulósicas funcionan como refuerzo distribuido dentro de esa matriz. Según la teoría clásica de compuestos, el refuerzo contribuye a mejorar la capacidad del material para resistir esfuerzos mediante dos funciones principales: la transferencia de carga y la confinación microestructural (Zhou et al., 2021).

Cuando el adobe sometido a cargas comienza a deformarse, parte del esfuerzo se

transfiere desde la matriz a las fibras de madera gracias a la interacción mecánica y química entre ambas fases. Este proceso se conoce como mecanismo de transferencia de carga, y depende de la adherencia en la interfaz fibra–matriz. En el caso de la madera pulverizada, esta adherencia se ve favorecida por la presencia de grupos hidroxilos (–OH) en la celulosa, los cuales pueden formar enlaces por puentes de hidrógeno con minerales arcillosos, generando una zona interfacial más estable (Li et al., 2020). Conforme la carga aumenta, las fibras actúan como minúsculos "puentes internos" que restringen la propagación de fisuras, mejorando la resistencia a la compresión y reduciendo la fragilidad del material.

Asimismo, la presencia de partículas lignocelulósicas modifica la distribución de esfuerzos en una matriz naturalmente heterogénea como el adobe. Las fibras dispersas funcionan como puntos de redistribución que desvían trayectorias de propagación de grietas y absorben tensiones localizadas, permitiendo que el material soporte mayores deformaciones antes de fallar. Investigaciones recientes demuestran que incluso pequeñas cantidades de fibras vegetales pueden incrementar la tenacidad y cohesión interna de matrices arcillosas, debido a este comportamiento de refuerzo pseudoaleatorio (Korniejenko et al., 2021).

Por otro lado, la madera pulverizada influye también en el comportamiento higroscópico del adobe. La estructura porosa natural de las fibras permite regular la humedad interna durante el secado, disminuyendo la retracción diferencial y reduciendo la aparición de microfisuras en las primeras etapas. Este efecto se ha observado en compuestos arcilla–fibra, donde el refuerzo vegetal favorece procesos de secado más homogéneos y mejora la estabilidad dimensional (Salles et al., 2022).

La valorización de residuos de parquet como refuerzo en adobe no solo responde a criterios técnicos, sino también ambientales. La industria maderera genera grandes volúmenes de desechos que, en la mayoría de casos, terminan siendo quemados o dispuestos

sin tratamiento. Su incorporación en materiales de construcción reduce la generación de residuos y aporta a la circularidad del recurso madera.

3.2.19. *Mortero de asentado*

El mortero constituye el elemento de unión fundamental en la albañilería, encargado de adherir las unidades, sellar las juntas para garantizar la hermeticidad y asegurar la continuidad estructural del muro. En la construcción con tierra, el mortero es típicamente una mezcla de suelo y agua, a la que se añaden fibras o arena para controlar la contracción volumétrica. Según la Norma Técnica Peruana E.080, la función primordial del mortero no es presentar una resistencia superior a la de la unidad, sino corregir las irregularidades geométricas de los bloques artesanales y permitir una distribución uniforme de las cargas verticales, evitando concentraciones de esfuerzos que podrían fracturar los adobes.

La integridad estructural de los muros depende de la compatibilidad físico-mecánica entre la unidad y el mortero. Autores como Minke (2005) y Vargas et al. (2015) sostienen que ambos componentes deben poseer propiedades de rigidez, expansión térmica y permeabilidad similares para asegurar un comportamiento monolítico ante solicitaciones sísmicas. Bajo este principio, para la presente investigación se establecieron dos tipologías de mortero diferenciadas por su composición:

Mortero para albañilería tradicional (Grupo Control): Utilizado para el asentado de adobes patrón. Su dosificación sigue la práctica vernácula y la clasificación de Mortero Tipo II de la norma, compuesta por suelo tamizado y agua, con la incorporación de paja o fibras vegetales en una proporción volumétrica aproximada del 1% al 2%. Su adherencia es principalmente mecánica por fricción.

Mortero para albañilería estabilizada (Grupos Experimentales): Para los adobes mejorados, se emplea un mortero cuya matriz replica la formulación exacta de la unidad. Esto implica incorporar los porcentajes definidos de madera pulverizada y mucílago de

Jahuacollay en la mezcla de la junta. Esta estrategia asegura continuidad química y mejora la adherencia mediante dos mecanismos: el mucílago actúa como retenedor de agua evitando el "quemado de junta" (secado prematuro por succión del adobe), mientras que la madera actúa como refuerzo fibroso que cose las microfisuras por retracción.

Finalmente, respecto a la geometría del sistema, el espesor de la junta es un parámetro constructivo crítico que debe mantenerse estrictamente entre 1 cm y 1.5 cm. Este rango cumple una doble función técnica: permite absorber las variaciones dimensionales propias de la fabricación artesanal del adobe garantizando la horizontalidad de las hiladas, y evita el uso de juntas excesivamente gruesas (mayores a 1.5 cm) que, al ser menos densas que las unidades compactadas, introducirían planos de debilidad y mayor deformabilidad en el muro.

3.2.20. *Fabricación del adobe*

El proceso que se requiere para la elaboración del adobe según (Hadzich, 2000) recomienda:

Fabricación del Barro

- Agregar al suelo la paja picada en trozos de 5 cm. más o menos, esto es para evitar la propagación de las rajaduras.
- Hacer el barro y dormido 1 o 2 días.
- Hacer adobes de prueba si los adobes se rajan al secarse, entonces el suelo contiene mucha arcilla, agregar arena de preferencia gruesa.

Método para fabricar el adobe

- Preparar gravera con o sin fondo.
- Sumergirla en agua para evitar que el barro se pegue al molde.
- El tamaño de los adobes depende del ancho de las paredes.
- Tirar el barro dentro de la <gavera colocada en el suelo.

- Emparejar la superficie con una regla de madera mojada.
- Sacar con cuidado el molde para no deformar el adobe recién hecho.

Secado del adobe

- Secar los adobes sobre suelo limpio y plano, de preferencia en una zona en sombra y ventilada. De no ser posible se puede cubrir con paja o arena.
- A los cuatro días voltearlos de canto para que continúe el secado.
- Una semana después apilar los adobes.

3.2.21. *Medidas del adobe*

Las medidas del adobe según la Norma Técnica Peruana NTP E-080, menciona que el bloque de adobe puede ser de planta cuadrada o rectangular y en el caso de encuentros, de formas especiales, pueden tener ángulos diferentes de 90ºademas se toma las siguientes consideraciones.

- El bloque de adobe cuadrado no debe sobrepasar los 0.40 m. de lado, por razones de peso.
- El bloque de adobe rectangular debe tener un largo igual a dos veces su ancho.
- La altura del bloque de adobe debe medir entre 0.08 m y 0.12 m.

3.2.22. *Características generales del adobe*

El adobe es un material de construcción que se distingue por ser un compuesto macizo formado por una matriz de suelo (arcilla y limo), un esqueleto granular (arena) y, frecuentemente, fibras vegetales. Sus propiedades dependen directamente de la calidad del suelo empleado y del proceso de manufactura. A continuación, se detallan sus características principales desde una perspectiva ingenieril:

a) Características Físicas

Densidad y Peso: El adobe es un material pesado, con una densidad que oscila generalmente entre 1600 y 1700 kg/m^3. Esta alta densidad es fundamental para su estabilidad gravitacional, pero implica que las estructuras generan grandes fuerzas inerciales durante eventos sísmicos (Blondet et al., 2003).

Homogeneidad: Al ser un material artesanal, su textura y color dependen del lugar de extracción. Sin embargo, estructuralmente se busca que sea una masa homogénea, sin vacíos internos ni estratificaciones, para asegurar un comportamiento uniforme.

b) Características Mecánicas

Resistencia a la compresión: Es la principal virtud mecánica del adobe. Tiene una capacidad aceptable para soportar cargas verticales (peso propio y techos), con resistencias que típicamente varían entre 10 y 15 kg/cm^2 en adobes tradicionales.

Resistencia a la tracción: Es extremadamente baja, siendo casi nula en la práctica de diseño. Esto hace que el material sea incapaz de resistir fuerzas de estiramiento o flexión sin agrietarse.

Comportamiento Frágil: El adobe se caracteriza por una falla súbita y quebradiza. Tiene muy baja ductilidad (capacidad de deformarse plásticamente), lo que significa que, ante un sismo severo, la estructura puede colapsar repentinamente si no cuenta con refuerzos que disipen energía.

c) Características Térmicas y Acústicas

Inercia Térmica: Una de sus mayores ventajas arquitectónicas. Debido al espesor de los muros y la densidad de la tierra, el adobe tiene la capacidad de almacenar calor durante el día y liberarlo lentamente durante la noche (efecto de retardo térmico). Esto amortigua las variaciones extremas de temperatura exterior, generando confort interior.

Aislamiento Acústico: La masa y la estructura porosa de la tierra proporcionan una

excelente barrera contra la transmisión de ruido aéreo.

d) Características Hídricas

Higroscopicidad: El adobe es un material hidrófilo; es decir, tiene gran afinidad por el agua. Sus poros absorben humedad del ambiente, lo que le permite "respirar" (regular la humedad interior), pero también lo hace vulnerable.

Solubilidad y Erosión: Al no ser un material cocido químicamente (como el ladrillo), la arcilla mantiene su capacidad de rehidratarse. Ante la presencia de agua líquida (lluvia o inundación), el adobe pierde su cohesión interna rápidamente y se disgrega (erosión), lo que representa su principal limitación patológica y justifica el uso de estabilizantes e impermeabilizantes.

3.2.23. *Ensayo de resistencia a la compresión simple (unidad de adobe)*

Este ensayo evalúa la calidad individual del bloque de tierra. La resistencia a la compresión de la unidad (fo) es el indicador principal de la capacidad portante del material y de la calidad de su fabricación (compactación y mezcla). A diferencia del concreto o ladrillo cocido, en el adobe se busca medir la resistencia de la matriz de tierra, por lo que no se ensaya el bloque entero si es muy grande, sino especímenes cúbicos representativos.

Según la Norma Técnica Peruana E.080 "Diseño y Construcción con Tierra Reforzada", el procedimiento se rige por los siguientes parámetros:

- Espécimen: Se deben elaborar cubos labrados cuya arista sea igual a la menor dimensión de la unidad de adobe original (por ejemplo, cubos de 10 x 10 x 10 cm.
- Muestra mínima: Se requiere el ensayo de al menos 6 especímenes.
- Criterio de resistencia: La norma establece que la resistencia mínima aceptable (fo) debe ser de 10.2 kg/cm^2.
- Cálculo: La resistencia última de diseño se define estadísticamente como el valor que es sobrepasado por el 80% de las piezas evaluadas (promedio menos la desviación

estándar ajustada).

3.2.24. *Ensayo de compresión axial en pilas (albañilería)*

El ensayo de pilas (prismas de albañilería) tiene como objetivo determinar la resistencia a la compresión de la albañilería en su conjunto (f'm). Este ensayo es fundamental porque evalúa la interacción mecánica entre la unidad de adobe y el mortero de asentado. Una pila representa una franja vertical del muro y permite verificar si el mortero es compatible y no causa la falla prematura del sistema.

La normativa peruana estipula las siguientes condiciones para validar el ensayo:

- Geometría: La pila debe tener una altura aproximada igual a tres veces la menor dimensión de la base (relación de esbeltez ≈ 3).
- Procedimiento: Se aplica una carga vertical uniforme hasta la rotura.
- Criterio de resistencia: La resistencia última a la compresión axial de la albañilería (f'm) debe alcanzar un valor mínimo de 0.6 MPa (6.12 kg/cm^2).
- Validación: El promedio de las cuatro mejores muestras (de un grupo de seis) debe cumplir o superar este valor tras 28 días de secado.

3.2.25. *Ensayo de compresión diagonal en muretes*

Este ensayo simula el comportamiento del muro ante fuerzas sísmicas (corte). Consiste en aplicar una carga de compresión a lo largo de la diagonal de un panel cuadrado pequeño (murete). El objetivo es determinar la resistencia al corte (v'm) o tracción indirecta de la albañilería. Es el ensayo más crítico para el diseño sismorresistente, ya que la falla por corte en "X" es la más común en edificaciones de adobe durante los terremotos.

El procedimiento se alinea con la norma ASTM E519 y la NTP E.080 bajo los siguientes términos:

- Espécimen: Se construyen muretes cuadrados de aproximadamente 0.65 m x 0.65 m x e_m, siendo e_m el espesor expresado en metros.

- Montaje: El murete se rota 45 grados y se carga en vértices opuestos.
- Criterio de resistencia: La resistencia mínima al corte (v'm) debe ser de 0.025 MPa (0.25 kg/cm2).
- Validación: Se requiere ensayar un mínimo de 6 muretes, tras 28 días.

3.2.26. *Ensayo de velocidad inicial de succión (IRA)*

La succión, técnicamente conocida como Tasa Inicial de Absorción (IRA), es la medida de la avidez de agua que tiene la unidad de adobe en sus primeros instantes de contacto con un fluido. Esta propiedad es determinante para la adherencia: si la succión es muy alta, el adobe "secará" el mortero instantáneamente, impidiendo su fraguado correcto ("quemado de junta"); si es muy baja, la unidad "nadará" sobre el mortero.

Aunque la NTP E.080 no detalla el procedimiento, se utiliza por referencia la norma ASTM C67:

- Preparación: Secado de la muestra a 110°C hasta masa constante.
- Inmersión parcial: Se sumerge la cara de asiento en una lámina de agua de 3 mm de profundidad.
- Tiempo: La medición estándar se realiza durante 1 minuto.
- Expresión de resultados: Se calcula en gramos de agua absorbida por minuto por unidad de área (g / min x cm2). En unidades de arcilla cocida, se busca no superar los 22% de absorción, valor referencial para el adobe estabilizado.

3.2.27. *Ensayo de absorción total*

La absorción total mide la cantidad máxima de agua que el material puede retener en sus poros permeables cuando se encuentra completamente sumergido. En el adobe, este parámetro está directamente relacionado con la durabilidad y la vulnerabilidad ante agentes climáticos. Un adobe con alta absorción es propenso a la erosión, la pérdida de resistencia mecánica en estado húmedo y la desintegración estructural (slaking).

Para materiales de albañilería, se siguen los lineamientos generales de las normas NTP 399.604 y 399.613:

- Procedimiento: Inmersión total de la unidad en agua durante 24 horas.
- Cálculo: Diferencia porcentual entre el peso saturado con superficie seca (Psss) y el peso seco al horno (Pseco).
- Limitación en tierra cruda: En adobes no estabilizados, este ensayo suele ser destructivo (la muestra se deshace antes de las 24 horas), por lo que la resistencia a la inmersión se convierte a menudo en una prueba cualitativa de estabilidad más que cuantitativa de absorción.

3.2.28. *Análisis estadístico*

El análisis de datos en la presente investigación se adscribe al paradigma cuantitativo, utilizando la estadística inferencial para generalizar las conclusiones obtenidas de la muestra la población de estudio.

Métrica de Diseño: El Valor Característico (VC) en ingeniería, la métrica de fiabilidad de un material se define por su rendimiento más bajo esperado5. Por ello, se emplea el Valor Característico (VC), el cual penaliza la dispersión de los datos y garantiza la seguridad en el diseño final. Este valor representa la resistencia mínima que se espera sea superada por el 90% de la producción del material. Según el (Eurocódigo 0, 2002), el valor característico se establece generalmente como el cuantil del 5% de la distribución de resistencia, asegurando un nivel de confianza del 95% de que la resistencia real no será inferior a la de diseño.

Fórmula del Valor Característico (VC):

$$VC = \int x - 1 \cdot \sigma$$

VC: Valor característico.

*f*x: promedio.

σ: Desviación estándar.

Pruebas de Supuestos: El uso de pruebas paramétricas requiere la verificación de supuestos clave: la Normalidad (distribución de los datos) y la Homogeneidad de Varianzas (dispersión similar entre grupos).

Prueba de Shapiro-Wilk: Es una prueba de normalidad robusta para muestras pequeñas (menores a 50 observaciones), como las 6 repeticiones utilizadas en esta investigación. Field (2018) recomienda esta prueba por su mayor potencia para detectar desviaciones en muestras reducidas.

Prueba de Levene: Evalúa la Homogeneidad de Varianzas (homocedasticidad). Si el valor de Significancia (Sig.) es menor a 0.05, las varianzas son desiguales, lo que compromete la fiabilidad del ANOVA. Montgomery (2017) explica que la heterogeneidad puede llevar a conclusiones erróneas sobre la diferencia entre las medias grupales.

Análisis de Varianza (ANOVA de un Factor) El ANOVA es una técnica paramétrica utilizada para contrastar si las medias de dos o más grupos son significativamente diferentes. Daniel (2009) enfatiza que el propósito central del ANOVA es determinar si la variación observada entre las medias de los grupos es lo suficientemente grande como para ser atribuida a la diferencia en los tratamientos y no simplemente al azar.

3.3. Definición de términos

a) Adobe: Unidad de albañilería definida según la Norma Técnica Peruana E.080 como un bloque macizo de tierra cruda (sin cocer), el cual puede contener paja u otros materiales para mejorar su estabilidad. Su matriz se compone de una mezcla equilibrada de arcilla (10-20%), limo (15-25%) y arena (55-70%).

b) Adobe estabilizado: Unidad de tierra a la que se le han incorporado materiales adicionales (como asfalto, cemento, cal o polímeros naturales) con el objetivo de mejorar

sus propiedades mecánicas y reducir su vulnerabilidad ante la humedad. En esta investigación, la estabilización se logra mediante la adición de mucílago y residuos de madera.

c) Bioestabilizacion: Proceso de mejoramiento de suelos basado en la incorporación de compuestos orgánicos o microorganismos que modifican la microestructura del material. Actúa mediante mecanismos como el bioclogging (sellado de poros por geles biológicos) o la interacción química entre biopolímeros y las partículas de arcilla, incrementando la cohesión y la impermeabilidad.

d) Jahuacollay: Cactus columnar endémico de los Andes peruanos (región Cusco), caracterizado por su rápido crecimiento y alto contenido de mucílago. Es utilizado en la investigación como fuente de biopolímeros estabilizantes debido a sus propiedades aglutinantes y su capacidad de formar geles viscosos en contacto con el agua.

e) Madera pulverizada (Residuos de parquet): Material lignocelulósico obtenido del aserrío de maderas duras (como roble o tornillo). En la matriz del adobe, actúa como un refuerzo fibroso que distribuye esfuerzos, puentea microfisuras y limita la contracción por secado, comportándose como el componente de refuerzo en un material compuesto.

f) Mucílago: Sustancia viscosa de origen vegetal compuesta por polisacáridos hidrofílicos de alto peso molecular. Al hidratarse, forma un gel que actúa como aglutinante natural, generando puentes de hidrógeno con las partículas de arcilla y creando películas que sellan los poros capilares, reduciendo la succión del material.

g) Murete: Espécimen de albañilería de dimensiones reducidas (aprox. 65 x 65 cm según norma, o 54 x 54 cm efectivos en este estudio), construido para evaluar el comportamiento integral de la albañilería (unidad + mortero). Se utiliza principalmente en ensayos de compresión diagonal para determinar la resistencia al corte.

h) Pila: Prisma de albañilería conformado por unidades de adobe asentadas una sobre otra con mortero. Este espécimen se utiliza en ensayos de compresión axial para determinar la resistencia a la compresión de la albañilería (f'm) y validar la calidad del asentado.

i) Plasticidad: Propiedad mecánica del suelo que describe su capacidad para deformarse sin romperse y mantener su forma bajo esfuerzos. Es un indicador crítico para la idoneidad de la tierra en la fabricación de adobes; suelos con plasticidad excesiva (arcillosos) o nula (arenosos) son descartados o requieren corrección.

j) Succión (Velocidad Inicial de Absorción): Fenómeno físico gobernado por la tensión superficial que determina la rapidez con la que el adobe absorbe agua en los primeros instantes de contacto. Es un parámetro crítico para la adherencia con el mortero; una succión controlada evita la deshidratación prematura de la mezcla de junta.

k) Valor Característico (VC): Métrica estadística utilizada en el diseño ingenieril que representa el valor de resistencia por debajo del cual se espera encontrar no más del 5% de la población de muestras. Garantiza un nivel de confianza del 95% en los cálculos estructurales, penalizando la dispersión de los resultados experimentales.

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. *Tipo de investigación*

La investigación es de tipo aplicada. Si bien Hernández-Sampieri, Fernández y Baptista (2018) clasifican las investigaciones principalmente por su enfoque (cuantitativo/cualitativo), establecen que el valor de un estudio se justifica por sus implicaciones prácticas, es decir, cuando su propósito es ayudar a resolver un problema real y concreto. Bajo este criterio, el presente estudio es aplicado porque utiliza las teorías de la ingeniería y la tecnología de materiales para dar solución a la vulnerabilidad estructural de las viviendas de tierra, desarrollando una propuesta tangible (adobe estabilizado con residuos y mucílago) que mejora la calidad constructiva en la zona de estudio

4.1.2. *Nivel de investigación*

El nivel de investigación corresponde al alcance explicativo. Según Hernández-Sampieri et al. (2018), estos estudios van más allá de la descripción de conceptos o del establecimiento de relaciones entre variables; están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos. Su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta. En este contexto, la investigación es explicativa porque busca demostrar la relación causa-efecto entre la incorporación de la madera pulverizada y

el mucílago de Jahuacollay (causas) y el incremento de las propiedades mecánicas e hídricas del adobe (efectos), determinando el porqué de la mejora en la resistencia y durabilidad del material.

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1. *Ámbito temporal*

La presente investigación se desarrolló durante el año 2024 y 2025, abarcando todas las etapas del estudio experimental. Durante este intervalo se realizaron actividades de recolección de materias primas, elaboración de unidades de ensayo, ejecución de pruebas físico–mecánicas y análisis de resultados.

El trabajo inició con la recopilación y caracterización de los materiales base (suelo, mucílago de Jahuacollay y madera pulverizada de residuos de parquet), seguida de la elaboración de los adobes. Posteriormente, se realizaron los ensayos de resistencia y comportamiento higroscópico, finalizando con el procesamiento estadístico y la interpretación de los resultados obtenidos. Este periodo temporal permitió cumplir adecuadamente con los tiempos técnicos necesarios para el curado del material y la ejecución de las pruebas requeridas.

4.2.2. *Ámbito espacial*

La investigación se llevó a cabo en la ciudad del Cusco, teniendo como zona principal de estudio el distrito de San Jerónimo, seleccionado por presentar una alta concentración de viviendas construidas con adobe y por la disponibilidad de los materiales utilizados en la investigación.

El ámbito espacial incluyó:

- Las áreas donde se identificó y recolectó el suelo empleado tradicionalmente en la fabricación de adobe.

- Los sectores donde se obtuvieron los aditivos naturales necesarios: mucílago de Jahuacollay proveniente de la flora local y madera pulverizada generada a partir de residuos de parquet.
- Las instalaciones de laboratorio ubicadas en Cusco, donde se elaboraron las unidades experimentales y se efectuaron los ensayos físicos–mecánicos correspondientes.

La selección de este espacio geográfico se fundamentó en la necesidad de analizar el comportamiento del adobe en un contexto real y representativo de la zona andina, asegurando que los resultados respondan a las condiciones propias del entorno constructivo local.

4.3. Población y muestra

4.3.1. *Población*

La población estuvo conformada por la totalidad de unidades de adobe elaboradas específicamente para la investigación que no fueron descartados debido a fallas o variación en las dimensiones, utilizando suelo arcilloso local del distrito de San Jerónimo, Cusco, tanto en su condición tradicional como con adición de madera pulverizada de residuos de parquet (MP) y mucílago de Jahuacollay (MJ). Dado que se trata de un estudio experimental, la población coincide con todas las unidades fabricadas ex profeso para evaluar el comportamiento físico–mecánico de la mezcla.

Justificación de las dosificaciones empleadas

Las dosificaciones seleccionadas (2 %, 5 % y 7 % de madera pulverizada de residuos de parquet; 5 %, 7 % y 10 % de mucílago de Jahuacollay) no fueron elegidas de manera arbitraria, sino en función de:

- Rangos utilizados en investigaciones recientes sobre estabilización natural del adobe, donde se reporta que las fibras lignocelulósicas producen mejoras significativas en

proporciones entre 1 % y 8 % respecto al peso de la mezcla (Korniejenko et al., 2021; Li et al., 2023).

- Ensayos preliminares exploratorios realizados en campo, que evidenciaron que porcentajes superiores al 8 % de madera pulverizada de residuos de parquet afectaban la cohesión de la mezcla, disminuyendo su trabajabilidad y dificultando la compactación en el molde.
- Estudios recientes con mucílagos y biopolímeros vegetales, que sugieren que los rangos óptimos se encuentran entre 5 % y 12 %, debido a su capacidad de reducir la succión y aumentar la cohesión interna del material (Souza et al., 2021; Martínez et al., 2023).
- Limitaciones propias del adobe artesanal: porcentajes demasiado altos alteran la relación arcilla–arena, incrementan el vacío interno y provocan fisuras por secado.

Bajo estas referencias, se estableció un diseño factorial 3×3 (tres niveles de MP y tres niveles de MJ), lo cual permite evaluar la interacción entre ambos aditivos sin comprometer la estabilidad de la mezcla.

Este criterio metodológico deja explícito que los porcentajes responden a literatura reciente, ensayos piloto y restricciones técnicas de la manufactura del adobe.

4.3.2. *Muestra*

La muestra estuvo conformada por 300 unidades experimentales elaboradas conforme al diseño factorial 3×3 más un grupo control. Cada combinación se trabajó con 30 unidades (6 especímenes para cada tipo de ensayo: compresión simple, compresión axial, compresión diagonal, succión y absorción).

Esto dio como resultado 10 grupos experimentales, distribuidos de la siguiente forma:

- 1 grupo de adobe tradicional (sin aditivos).
- 9 grupos de adobes con diferentes combinaciones de madera pulverizada de residuos de

parquet y mucílago de Jahuacollay, conforme al siguiente detalle:

Tabla 3

Muestras de diseños de mezcla

Código	Composición	Nº de Muestras
A1	Adobe tradicional (AC)	30
A2	2 % MP + 5 % MJ	30
A3	2 % MP + 7 % MJ	30
A4	2 % MP + 10 % MJ	30
A5	5 % MP + 5 % MJ	30
A6	5 % MP + 7 % MJ	30
A7	5 % MP + 10 % MJ	30
A8	7 % MP + 5 % MJ	30
A9	7 % MP + 7 % MJ	30
A10	7 % MP + 10 % MJ	30

Nota: Distribución de los grupos experimentales según la dosificación de madera pulverizada (MP) y mucílago de Jahuacollay (MJ).

Las unidades de adobe fueron fabricadas ex profeso, siguiendo un diseño experimental controlado. Para cada dosificación se elaboraron 30 especímenes, de los cuales se seleccionaron 6 unidades para cada ensayo, de acuerdo con los criterios de homogeneidad dimensional y ausencia de defectos visibles, conforme a las recomendaciones de la NTP E.080 y la ASTM C67.

Justificación de las dosificaciones experimentales

La selección de las dosificaciones experimentales de madera pulverizada de residuos de parquet (MP) y mucílago de Jahuacollay (MJ) respondió a criterios técnicos, antecedentes de investigaciones previas y evaluaciones preliminares de trabajabilidad, orientadas a garantizar la viabilidad constructiva de las unidades de adobe y la confiabilidad de los resultados obtenidos.

En primer lugar, los rangos de dosificación de madera pulverizada de residuos de parquet (2 %, 5 % y 7 %) se definieron considerando estudios previos que emplean fibras o residuos lignocelulósicos en matrices arcillosas, los cuales reportan que contenidos bajos (menores al 2 %) presentan efectos limitados sobre la resistencia mecánica, mientras que

dosificaciones elevadas (superiores al 8 % o 10 %) tienden a generar pérdida de cohesión, incremento de porosidad y dificultades durante el moldeo y secado del adobe. Investigaciones como las de Cerna y Velásquez (2021), Medina (2022) y Arotaipe y Lecaros (2022) evidencian que rangos intermedios de incorporación de fibras vegetales permiten mejorar el comportamiento mecánico sin comprometer la integridad del material.

De manera complementaria, la selección de las dosificaciones de mucílago (5 %, 7 % y 10 %) se sustentó en antecedentes que señalan que concentraciones menores al 5 % generan un efecto limitado como agente aglutinante, mientras que porcentajes superiores al 10 % incrementan excesivamente la viscosidad de la mezcla, dificultando su trabajabilidad y provocando retardos en el secado. Estudios como los de Robles (2021) y Rodríguez-Medina et al. (2022) indican que estos rangos permiten una adecuada gelificación del mucílago, favoreciendo la cohesión interna, el sellado parcial de poros y la reducción de la absorción de agua, sin afectar negativamente el proceso de fabricación del adobe.

Asimismo, antes de definir las dosificaciones finales, se realizaron pruebas preliminares de carácter exploratorio, orientadas a observar el comportamiento de la mezcla durante el amasado, moldeo y desmolde. Estas evaluaciones cualitativas permitieron descartar porcentajes menores (1 % o 3 %), por presentar efectos poco perceptibles, así como dosificaciones superiores (8 %, 9 % o 12 %), debido a problemas de segregación, pérdida de forma y aparición temprana de fisuras durante el secado. Si bien estas pruebas no formaron parte del análisis estadístico, fueron determinantes para delimitar rangos técnicamente viables.

La elección de un diseño experimental factorial 3×3, en lugar de otros esquemas experimentales, respondió a la necesidad de evaluar no solo el efecto individual de cada aditivo, sino también la interacción entre la madera pulverizada de residuos de parquet y el mucílago de jahuacollay. Este tipo de diseño permitió analizar de manera sistemática la

influencia combinada de ambos factores sobre las propiedades mecánicas e higroscópicas del adobe, optimizando el número de muestras y garantizando una adecuada representatividad experimental. Diseños con mayor número de niveles habrían incrementado significativamente la cantidad de especímenes, sin aportar mejoras proporcionales en la interpretación de resultados.

Muestreo:

Se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando 6 especímenes por cada adición para los ensayos de laboratorio, lo que da un total de 60 unidades experimentales.

Las pruebas de resistencia a la compresión se realizaron a los 28 días de secado natural de los adobes, garantizando condiciones homogéneas de humedad y temperatura.

4.4. Instrumentos

- Balanza de precisión digital.
- Hornos de secado.
- Máquina universal de ensayos (para compresión).
- Moldes normalizados para adobes.
- Recipientes s para las pruebas de absorción y succión.
- Juego de Tamices Normalizados.
- Aparato de Límites de Atterberg.
- Picnómetro o Frasco de Le Chatelier.
- Horno de Secado y Estufa.
- Balanza de Precisión (Capacidad Mayor).
- Balanza Analítica o Gramera.
- Mezcladora Mecánica.
- Moldes Rígidos Normalizados.

- Recipientes de Inmersión.
- Cronómetro Digital.
- Prensa Universal / Hidráulica.
- Marco de Carga (Diagonal).
- Placas de Reparto y Rótulas.
- Celdas de Carga (Load Cells).
- Transductores (LVDTs).
- Sistema de Adquisición (Data Logger).

4.5. Procedimientos

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo siguiendo una secuencia de actividades de campo y de laboratorio, orientadas a evaluar la influencia de la madera pulverizada de residuos de parquet y el mucílago de Jahuacollay en las propiedades físico–mecánicas de la albañilería de adobe.

4.5.1. *Recolección y preparación del suelo*

Se seleccionó el distrito de San Jerónimo, Cusco, como zona de estudio, identificando un banco de tierra representativo del material utilizado habitualmente para la fabricación de adobes artesanales.

Figura 1

Identificación del suelo

Nota: Ubicación y selección de la cantera de tierra en el distrito de San Jerónimo para la extracción de muestra

La extracción del material se realizó mediante un muestreo no probabilístico intencional, seleccionando una cantera con antecedentes de uso en la albañilería local del distrito de San Jerónimo. Para la obtención de la muestra, se aplicó la técnica de excavación a cielo abierto o "calicata", siguiendo los lineamientos de la norma NTP 339.162 (ASTM D420).

El procedimiento inició con la limpieza superficial del terreno, retirando el estrato orgánico hasta una profundidad de 0.40 m para evitar la presencia de raíces y restos vegetales que pudieran alterar las propiedades físico-químicas de la mezcla. La extracción efectiva se realizó en el estrato intermedio, garantizando la homogeneidad del material.

Se recolectó una muestra representativa de 15 kg de suelo, cantidad determinada según el requerimiento normativo para la ejecución de los ensayos de caracterización física inicial (análisis granulométrico por tamizado e hidrometría, y límites de consistencia). El material fue envasado en sacos de polipropileno limpios, debidamente rotulados y herméticos para conservar la humedad natural, siendo transportados inmediatamente al

laboratorio para su procesamiento.

Figura 2

Extracción del suelo.

Nota: Obtención de suelo, siguiendo los protocolos de la norma NTP 339.162.

4.5.2. *Secado del material*

El suelo se secó al aire durante 72 horas, en ambiente techado y ventilado, hasta alcanzar una variación de masa menor al 1 % en 24 h, criterio adoptado como humedad de equilibrio.

Una vez seco, el material se desmenuzó manualmente y se tamizó a través de una malla adecuada (por ejemplo, 4,75 mm) para eliminar grumos, piedras y partículas gruesas, obteniéndose una fracción homogénea para las mezclas.

Figura 3

Análisis granulométrico de la muestra de suelo

Nota: Preparación y secado de la muestra de suelo en laboratorio para el análisis de partículas.

Figura 4

Cuarteo de muestra.

Nota: Procedimiento de cuarteo manual para obtener muestras representativas según norma.

4.5.3. *Caracterización preliminar de la tierra*

Con la muestra de suelo previamente acondicionada, homogeneizada y pasante del tamiz N° 4, se procedió a la ejecución de ensayos de caracterización física en laboratorio.

Esta etapa fue determinante para definir las propiedades índices del material base y verificar científicamente su aptitud para la fabricación de adobes, asegurando el cumplimiento de los usos granulométricos y rangos de plasticidad exigidos por la Norma Técnica E.080 "Diseño y Construcción con Tierra Reforzada".

En primera instancia, se determinó la distribución del tamaño de partículas mediante el análisis granulométrico global, realizado bajo la norma NTP 339.128 (ASTM D422). Este ensayo se ejecutó en dos fases complementarias: el tamizado mecánico para la fracción gruesa (arenas) y el análisis por hidrometría para la fracción fina (limos y arcillas) que atraviesa el tamiz N° 200 (0.075 mm). La integración de ambos métodos permitió construir la curva granulométrica completa, cuantificando con precisión el porcentaje de arcilla presente, componente vital para la cohesión, y el porcentaje de arena, responsable del esqueleto estructural del adobe.

Simultáneamente, se evaluó la interacción del suelo con el agua mediante la determinación de los Límites de Atterberg o Límites de Consistencia, siguiendo el procedimiento de la norma NTP 339.129 (ASTM D4318). Se empleó la Copa de Casagrande para obtener el Límite Líquido (LL) y el método del rolado manual sobre vidrio esmerilado para el Límite Plástico (LP). La diferencia aritmética entre ambos valores definió el Índice de Plasticidad (IP), parámetro crítico que dictamina la trabajabilidad de la mezcla: un IP muy bajo indicaría falta de cohesión (adobes frágiles), mientras que un IP excesivo alertaría sobre arcillas expansivas propensas a la fisuración severa por retracción de secado.

Finalmente, con los datos cuantitativos de granulometría y plasticidad, se procedió a la Clasificación de Suelos (SUCS) según la norma ASTM D2487. El suelo fue categorizado mediante la Carta de Plasticidad, verificando que se ubicara dentro de las zonas aceptables SC y descartando suelos orgánicos o de alta compresibilidad MH, CH que comprometerían la estabilidad estructural de la albañilería propuesta en esta investigación.

4.5.4. *Análisis Granulométrico (por tamizado y sedimentación)*

Se realizó el ensayo de granulometría combinado (tamizado mecánico para la fracción gruesa y sedimentación vía hidrómetro para la fracción fina), conforme a la norma NTP 339.128 (ASTM D-422). El objetivo fue determinar los porcentajes cuantitativos de grava, arena, limo y arcilla para verificar su idoneidad en la fabricación de unidades de albañilería.

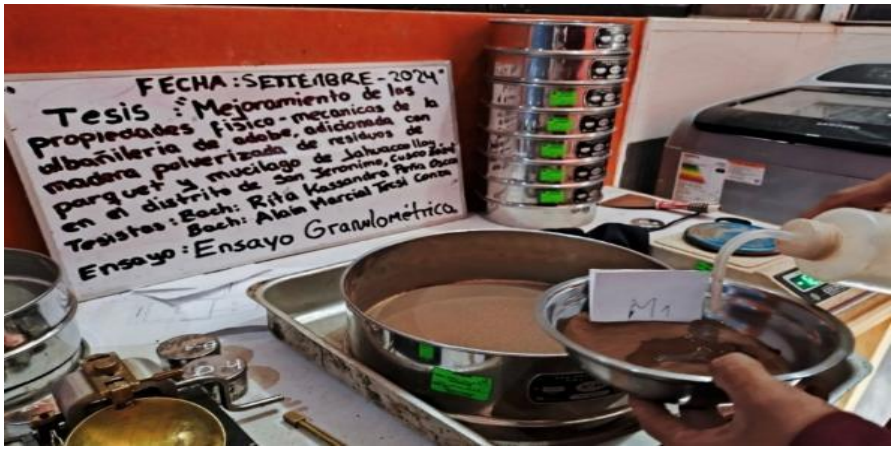
Figura 5

Tamizado de muestra

Nota: Proceso de separación de partículas mediante juego de tamices normalizados (ASTM D422).

Figura 6

Granulometría del suelo



Nota: Distribución granulométrica del suelo utilizado, clasificado como Arena Arcillosa.

Tabla 4

Matriz Datos de análisis granulométrico

Tamiz Nº	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)
3	75	0
2"	50	0
1"	25	0
3/8"	9.5	0
4	4.75	0
10	2	78.51
20	0.84	96.23
40	0.425	84.07
60	0.25	98.29
100	0.15	92.67
200	0.075	97.34
Bandeja	0	352.89
		900

Nota: Distribución del tamaño de partículas del suelo obtenida mediante tamizado mecánico, según los procedimientos de la norma NTP 339.128 (ASTM D422).

Según el análisis granulométrico se tiene un 39% de fino y 60% de arena, por lo cual para poder clasificar los suelos según la norma correspondiente a los parámetros solicitados para una buena gradación se requiere el ensayo hidrométrico.

Tabla 5

Prueba de hidrometría.

Tiempo	Lectura Hidrómetro	Temperatura
0.25 min	52	28.00 °C
0.5 min	49	28.00 °C
1 min	47	28.00 °C
2 min	45	28.00 °C
4 min	44	28.00 °C
8 min	42	28.00 °C
15 min	38	28.00 °C
30 min	37	28.00 °C
60 min	35	28.00 °C
120 min	32	28.00 °C
240 min	30	28.00 °C
480 min	28	28.00 °C
1440 min	26	28.00 °C
2880 min	25	28.00 °C

Nota: Datos de sedimentación para la fracción fina del suelo, determinados mediante el ensayo de hidrómetro conforme a la norma NTP 339.128 (ASTM D422).

4.5.5. *Clasificación de suelos*

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS - ASTM D-2487)

La caracterización física del suelo seleccionado para la elaboración de los adobes se llevó a cabo mediante ensayos estándar de laboratorio, con el objetivo de verificar sus propiedades índices y su clasificación geotécnica. En primer lugar, se realizó el análisis granulométrico por tamizado (ASTM D6913), determinando la distribución porcentual de gravas, arenas y finos. Posteriormente, se evaluó la plasticidad del material pasante del tamiz N° 40 a través de los Límites de Atterberg (ASTM D4318), obteniendo el Límite Líquido (LL), Límite Plástico (LP) y el Índice de Plasticidad (IP).

Con base en estos parámetros, se procedió a la clasificación del suelo según el

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS - ASTM D2487). Este procedimiento permitió definir el tipo de suelo y validar su idoneidad como materia prima para la albañilería de tierra, contrastando sus propiedades con los requisitos granulométricos y de plasticidad recomendados por la Norma Técnica E.080.

4.5.6. *Obtención y procesamiento de la madera pulverizada de residuos de parquet*

Para la obtención del material de refuerzo fibroso, se recolectaron residuos de parquet provenientes de procesos de remodelación y acabados de construcción, seleccionando específicamente aquellos constituidos por maderas duras de alta densidad tales como roble, cedro, tornillo (Cedrelinga cateniformis) o makoré. La elección de estas especies no fue aleatoria, sino que se sustenta en su elevada resistencia mecánica natural, durabilidad intrínseca y en su microestructura de fibras orientadas, propiedades que, al ser transferidas a la matriz de tierra, contribuyen a mejorar la resistencia a la tracción y la tenacidad del adobe.

Previo al procesamiento, se realizó una segregación selectiva y limpieza manual de los retazos, asegurando la eliminación total de agentes contaminantes físicos y químicos como clavos, restos de adhesivos asfálticos o capas de barniz y laca. Esta etapa es crítica, ya que la presencia de barnices genera una barrera hidrofóbica que impide la correcta adherencia interfacial entre la fibra de madera y la arcilla húmeda, lo cual debilitaría la mezcla en lugar de reforzarla.

Una vez purificado el material, se procedió a la reducción dimensional mediante un proceso de trituración mecánica, pulverizando los residuos hasta transformar las astillas en partículas finas ("harina de madera"). Para garantizar la homogeneidad del refuerzo y evitar la presencia de fibras excesivamente largas que generen planos de debilidad o vacíos en el adobe, el material triturado fue sometido a un tamizado de control a través de una malla de apertura fina (2 mm o tamiz N° 10). Este procedimiento aseguró una granulometría uniforme, permitiendo una dispersión aleatoria y equitativa de las fibras dentro de la masa

de barro.

Finalmente, la madera pulverizada obtenida fue estabilizada higroscópicamente, almacenándola en recipientes herméticos, secos y debidamente etiquetados. Esta precaución tuvo como fin proteger el material de la humedad ambiental y evitar la proliferación de hongos o el hinchamiento prematuro de las fibras antes de su incorporación al diseño de mezclas experimental.

Figura 7

Dosificación de madera pulverizada de residuos de parquet.

Nota: Pesaje de la madera pulverizada de residuos de parquet según los porcentajes de diseño.

Figura 8

Distribución de madera pulverizada de residuos de parquet.

Nota: Detalle de la textura y tamaño de partícula de la madera pulverizada lista para la mezcla.

4.5.7. *Obtención y procesamiento del mucílago de jahuacollay*

4.5.7.1. Recolección y selección de la materia prima

La obtención del material biológico se llevó a cabo mediante la recolección de tallos maduros de la especie Trichocereus cuzcoensis, conocida vernáculamente como "Jahuacollay". Esta actividad se realizó específicamente en las zonas altas del distrito de San Jerónimo, Cusco, en un rango altitudinal aproximado de 3,240 m.s.n.m., seleccionando especímenes adultos que presentaran un color verde oscuro intenso y un diámetro considerable, indicadores de una mayor concentración de polisacáridos en su estructura celular.

4.5.7.2. Limpieza y preparación del parénquima

El material vegetal recolectado fue transportado al laboratorio para su procesamiento inmediato. En primera instancia, se realizó un lavado exhaustivo utilizando agua potable,

garantizando la eliminación total de polvo atmosférico, tierra adherida y contaminantes biológicos superficiales que pudieran alterar la química del mucílago o introducir bacterias degradadoras en el adobe. El uso de agua potable aseguró que el insumo estuviera libre de sales nocivas y materia orgánica en suspensión, cumpliendo con los estándares de calidad para agua de mezcla (análogos a la NTP 339.088).

Posteriormente, se procedió al "desespinado" y retiro de la cutícula externa (cáscara) de los tallos, dejando expuesto únicamente el parénquima o pulpa interior. Este tejido fue picado o trozado en cubos pequeños (aprox. 2 x 2 cm) con el objetivo de maximizar el área de contacto superficial y facilitar la transferencia de masa durante la extracción.

4.5.7.3. Maceración y extracción del mucílago

Para la liberación de la sustancia aglomerante, los fragmentos de parénquima se sumergieron en recipientes inertes con agua potable en una proporción peso/volumen controlado (por ejemplo, 1:2, es decir, 1 kg de cactus por 2 litros de agua). La mezcla se dejó en reposo estático o maceración durante un periodo de 12 a 24 horas a temperatura ambiente. Durante este tiempo, se produjo la hidrólisis natural y la solubilización de los polisacáridos, resultando en una solución viscosa y transparente.

Finalmente, el líquido obtenido fue separado de los sólidos mediante un tamizado o filtrado con malla fina, obteniendo así el extracto puro de mucílago, el cual fue almacenado en envases herméticos para evitar su fermentación previa a la incorporación en la mezcla de barro.

Figura 9

Procesamiento del mucílago de jahuacollay.

Nota: Limpieza y habilitado de los tallos de cactus Jahuacollay para la extracción.

Figura 10

Preparación del mucílago de jahuacollay.

Nota: Proceso de maceración y filtrado para obtener el extracto líquido viscoso del mucílago.

4.5.8. *Diseño experimental y protocolo de preparación de las mezclas*

4.5.8.1. Definición de la matriz de tratamientos

Para evaluar la influencia de los aditivos en las propiedades físico-mecánicas de la

albañilería, se diseñó un experimento factorial que combina dos variables independientes: el porcentaje de Madera Pulverizada de residuos de parquet (MP) y el porcentaje de Mucílago de Jahuacollay (MJ). Los porcentajes se definieron en relación con el peso del suelo seco, estableciendo los siguientes grupos de estudio:

1. Grupo de Control (AC): Adobe tradicional patrón, elaborado únicamente con suelo y agua (0% MP + 0% MJ), el cual sirve como línea base de comparación.
2. Grupos Experimentales: Se establecieron nueve (09) combinaciones resultantes de la interacción de tres niveles de dosificación para cada aditivo, conformando una matriz de diseño 3 x 3:
    - Niveles de Madera Pulverizada (MP): 2%, 5% y 7%.
    - Niveles de Mucílago (MJ): 5%, 7% y 10%.

Esta matriz genera tratamientos específicos (ej. T1: 2%MP+5%MJ, T2: 2%MP+7%MJ, etc.) que permiten analizar no solo el efecto individual de cada componente, sino la sinergia entre la fibra (refuerzo físico) y el mucílago (aglomerante químico).

4.5.9. *Protocolo de dosificación y mezclado*

El proceso de elaboración de las mezclas siguió una secuencia operativa estricta para asegurar la repetibilidad y homogeneidad de los especímenes, dividiéndose en tres etapas:

4.5.9.1. Dosificación gravimétrica

Para cada tanda de producción, se calculó la cantidad de insumos en función del peso del suelo seco procesado (Wsuelo). El pesaje se realizó utilizando una balanza digital de precisión para los aditivos y una balanza de plataforma para el suelo.

- El peso de la madera (WMP) se determinó como: WMP = Wsuelo x % diseño.
- El peso del mucílago (WMJ) se calculó de forma análoga, considerándose este aporte como parte del líquido total de amasado.

4.5.9.2. Mezclado en seco (homogeneización de sólidos)

Sobre una superficie limpia, impermeable y no absorbente (losa de concreto o plancha metálica), se dispuso el suelo tamizado formando una corona o anillo. En el centro se incorporó la madera pulverizada correspondiente a la dosificación. Se procedió al mezclado manual utilizando palas, realizando movimientos envolventes de afuera hacia adentro y viceversa. Esta operación se repitió hasta lograr una distribución visualmente uniforme, donde las fibras de madera quedaron dispersas equitativamente en la matriz de tierra, evitando la formación de "nidos" o aglomeraciones de aserrín que pudieran generar planos de falla futuros.

4.5.9.3. Humectación y maceración (incorporación del mucílago)

Una vez homogeneizada la mezcla seca, se reconstruyó la corona y se vertió gradualmente el extracto líquido de Mucílago de Jahuacollay en el centro, complementando con la cantidad de agua potable necesaria para alcanzar la plasticidad de trabajo ("estado plástico").

El amasado se realizó enérgicamente, asegurando que el mucílago impregnara todas las partículas de arcilla y fibra. Una vez obtenida la masa uniforme, se cubrió con plásticos o mantas húmedas y se dejó en reposo o "dormido" por un periodo de 24 a 48 horas. Este paso, recomendado por la Norma E.080, es crítico pues permite la completa hidratación de las arcillas y la activación de los polisacáridos del mucílago, maximizando la cohesión antes del moldeo.

Previa a la fabricación de los adobes, se verificó nuevamente la consistencia de la mezcla, ajustando la humedad si fuese necesario para compensar la evaporación durante el reposo.

Figura 11

Preparación de las mezclas de adobe.

Nota: Homogeneización manual de la tierra con la madera pulverizada y el mucílago.

Luego se añadió el mucílago de Jahuacollay y, de ser necesario, una cantidad adicional de agua para alcanzar una consistencia plástica adecuada, amasando hasta obtener una pasta uniforme, sin grumos ni zonas secas.

Tabla 6

Cantidad de adición de aditivos.

Dosificación por adobe de dimensión de 36x18x10cm			
Tipo De Aditivo	% De Adición	Peso	UND
Madera pulverizada de residuos de parquet	2% de adición	0.22	Kg
	5% de adición	0.55	Kg
	7% de adición	0.77	Kg
Mucílago de Jahuacollay	5% de adición	0.55	Kg
	7% de adición	0.77	Kg
	10% de adición	1.1	Kg
Dosificación por cubos de adobe de dimensión de 10x10x10cm			
TIPO DE ADITIVO	% DE ADICION	PESO	UND
Madera pulverizada de residuos de parquet	2% de adición	0.03	Kg
	5% de adición	0.08	Kg
	7% de adición	0.12	Kg
Mucílago de Jahuacollay	5% de adición	0.08	Kg
	7% de adición	0.12	Kg
	10% de adición	0.17	Kg

Nota: Cálculo de la dosificación gravimétrica de los aditivos por unidad de adobe.

Para la elaboración de las unidades de adobe estabilizado, se definió una unidad patrón de dimensiones 36 x 18 x 10 cm, estableciendo un peso base de suelo seco de 11.00 kg por unidad.

La incorporación de aditivos se realizó mediante porcentajes respecto al peso del suelo seco, y la cantidad de agua de amasado se ajustó como variable dependiente para garantizar la consistencia plástica y trabajabilidad exigida por la Norma Técnica Peruana E.080. El diseño experimental quedó estipulado de la siguiente manera:

Adición de Fibra (Madera Pulverizada de Parquet): Se incorporaron residuos de madera en tres niveles de dosificación con el objetivo de evaluar su comportamiento mecánico y físico:

2% (0.22 kg): Dosificación baja para control de micro fisuras.

5% (0.55 kg): Dosificación media.

7% (0.77 kg): Dosificación alta para aligeramiento de la unidad.

Adición de Aglomerante Natural (Mucílago de Jahuacollay): Se añadió el extracto viscoso del cactus (o especie local correspondiente a Jahuacollay) como estabilizante líquido:

5% (0.55 kg): Nivel inicial de estabilización.

7% (0.77 kg): Nivel intermedio.

10% (1.10 kg): Nivel máximo, sustituyendo parcialmente el agua de amasado.

Control de Humedad (Criterio Norma E.080): De acuerdo con la Norma E.080, el agua se añadió estrictamente hasta alcanzar la humedad óptima que permita el moldeo sin deformaciones (consistencia plástica), verificando que la mezcla sea uniforme, libre de grumos y zonas secas. En las mezclas con mucílago, el volumen de agua potable se redujo proporcionalmente al aporte hídrico del aditivo para mantener la relación agua/suelo dentro de los rangos de trabajabilidad normativa.

Además, para la elaboración de Especímenes Cúbicos para Ensayo de Compresión (Norma E.080) Para la determinación de la resistencia a la compresión, se diseñaron especímenes cúbicos de dimensiones 10x10x10cm utilizando un peso base de suelo seco. La preparación de las muestras siguió los criterios de homogeneidad y compactación estipulados en la Norma Técnica Peruana E.080,

La mezcla alcanzó una consistencia plástica trabajable, definida por la capacidad de ser moldeada sin fisuración visible ni exudación de agua.

4.5.10. *Moldeo y curado de las unidades de adobe*

Con cada mezcla se procedió a moldear las unidades de adobe, utilizando moldes de dimensiones estándar empleadas en la zona (por ejemplo, 30 cm × 15 cm × 10 cm), previamente humedecidos para evitar adherencias.

La mezcla se colocó en los moldes en capas, compactándola manualmente para reducir vacíos y asegurar una densidad uniforme en toda la pieza.

Los adobes recién moldeados se desmoldaron cuidadosamente apenas terminas de llenar y nivelar (enrasar) la mezcla en el molde, este se retira con un movimiento vertical suave. No se debe esperar a que seque dentro del molde. y se colocaron sobre una superficie plana, en ambiente techado y ventilado, protegidos de la lluvia y de la radiación solar directa.

El proceso de curado y secado se realizó durante un periodo aproximado de 28 días, volteando periódicamente las unidades para favorecer un secado uniforme y reducir la aparición de fisuras.

Se fabricó un número suficiente de unidades por cada dosificación para cubrir los ensayos de compresión simple, compresión axial en pilas, compresión diagonal en muretes y succión, considerando al menos seis especímenes por tipo de ensayo y por mezcla.

Figura 12

Preparación de adoberas de 10x10cm.

Nota: Moldeo de especímenes cúbicos para el control de resistencia a la compresión de la unidad.

Figura 13

Preparación de adoberas de 36x18x10cm

Nota: Fabricación de unidades de adobe de tamaño completo para ensayos de albañilería.

Figura 14

Curado de muestras de adobe.

Nota: Almacenamiento y secado de las unidades para garantizar el fraguado uniforme.

4.5.11. *Diseño y dosificación de los morteros de asentado*

Principio de correspondencia y compatibilidad material para garantizar la integridad estructural de los prismas (pilas) y muretes ensayados, el diseño de las juntas se basó en el principio de homogeneidad mecánica. Se determinó que la composición del mortero debía mantener una estricta correspondencia con la dosificación de la unidad de albañilería que unía. Esto significa que no se empleó un mortero genérico único, sino que se formularon mezclas específicas para cada grupo experimental. El objetivo de esta estrategia metodológica fue asegurar la compatibilidad en las propiedades de deformación y adherencia química entre la unidad y la junta, evitando planos de falla prematura por incompatibilidad de rigidez (juntas muy rígidas o muy débiles respecto al bloque).

Tipología de mezclas de mortero de acuerdo con este criterio, se definieron dos categorías de mortero:

1. Mortero tradicional: Utilizado exclusivamente para el asentado de los adobes tradicionales. Su composición consistió en la mezcla estándar de tierra tamizada (malla N° 8) y paja cortada (50-70 mm) en proporción volumétrica 1:1, amasada con agua potable, sin la adición de estabilizantes.
2. Morteros Experimentales (Reforzados): Para cada uno de los tratamientos con adición de madera y mucílago, se fabricó un mortero "espejo" que replicó los mismos porcentajes de dosificación de la unidad. Es decir, para asentar los adobes con *X%* de madera pulverizada de residuos de parquet y *Y%* de mucílago de *Jahuacollay*, se preparó un mortero conteniendo exactamente ese *X%* de madera y *Y%* de mucílago respecto al peso seco de la tierra del mortero, manteniendo adicionalmente la paja como refuerzo de retracción estándar.

Protocolo de preparación y maceración el procedimiento de fabricación fue constante para todas las variables. Se utilizó suelo de la misma cantera, tamizado por la malla N° 8 (2.36 mm) para eliminar partículas gruesas y garantizar el espesor uniforme de las juntas (10 mm - 15 mm). Los componentes secos (tierra, paja y madera pulverizada según corresponda) se homogenizaron primero; luego se incorporó el extracto líquido de mucílago y el agua potable hasta alcanzar la plasticidad de trabajo. Finalmente, todas las mezclas de mortero, tanto el patrón como las experimentales, fueron sometidas al proceso de maceración ("dormido") bajo cobertura plástica durante 48 horas antes del asentado, asegurando la activación de las arcillas y la completa hidratación de los polímeros del mucílago y las fibras de madera.

4.5.12. *Ensayo de resistencia a la compresión simple de unidades*

Finalizado el periodo de curado, se procedió a la selección de las unidades destinadas al ensayo, descartando aquellas que presentaran defectos visibles como fisuras profundas, bordes quebrados o erosión severa. Los especímenes seleccionados corresponden a cubos de

10 x 10 x 10 cm.

Previo al ensayo, se registraron las dimensiones reales y el peso de cada muestra para determinar su densidad y el área bruta de contacto. Siguiendo los lineamientos de la Norma E.080 (Diseño y Construcción con Tierra Reforzada), los cubos se posicionaron en la prensa de compresión asegurando una correcta alineación de sus caras y aplicando una carga axial continua y sin impacto hasta producir la falla.

Finalmente, se registró la carga máxima de rotura para calcular la resistencia a la compresión simple (fo) en kg/cm^2, obteniendo posteriormente el promedio y la desviación estándar para cada dosificación evaluada.

Figura 15

Ensayo de resistencia a compresión simple de las unidades.

Nota: Montaje del ensayo de resistencia a la compresión simple en la prensa (NTP E.080).

Tabla 7

Tabla de datos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión simple de unidades.

CODIGO	MUESTRA	DESCRIPCION	EDAD	DIAL	SUPERFICIE DE CONTACTO		
					LARGO	ANCHO	AREA
			(días)	kg	cm	cm	m2
M-1	1	**ADOBE TRADICIONAL (0%)**	28	1071.8	10.10	10.30	104.03
	2		28	1065.1	10.20	10.10	103.02
	3		28	1035.7	10.10	10.00	101.00
	4		28	1022.4	10.12	10.05	101.71
	5		28	1023.5	10.15	10.10	102.52
	6		28	1027.7	10.18	10.06	102.41
M-2	1	**2% M+5%J**	28	1281.1	10.21	10.10	103.12
	2		28	1259.0	10.17	10.21	103.84
	3		28	1265.1	10.08	10.17	102.51
	4		28	1264.9	10.11	10.22	103.32
	5		28	1259.3	10.13	10.23	103.63
	6		28	1248.4	10.15	10.33	104.85
M-3	1	**2% M+7%J**	28	1359.8	10.32	10.11	104.34
	2		28	1330.2	10.15	10.10	102.52
	3		28	1341.5	10.21	10.30	105.16
	4		28	1345.2	10.14	10.35	104.95
	5		28	1348.2	10.16	10.24	104.04
	6		28	1349.8	10.22	10.33	105.57
M-4	1	**2% M+10%J**	28	1277.3	10.23	10.19	104.24
	2		28	1264.9	10.17	10.26	104.34
	3		28	1256.6	10.08	10.10	101.81
	4		28	1254.3	10.32	10.11	104.34
	5		28	1255.4	10.15	10.16	103.12
	6		28	1245.0	10.21	10.17	103.84
M-5	1	**5% M+5%J**	28	1231.1	10.13	10.15	102.82
	2		28	1229.8	10.27	10.09	103.62
	3		28	1247.0	10.15	10.21	103.63
	4		28	1248.3	10.11	10.11	102.21
	5		28	1250.2	10.16	10.09	102.51
	6		28	1247.3	10.22	10.14	103.63
M-6	1	**5% M+7%J**	28	1181.9	10.11	10.09	102.01
	2		28	1195.6	10.20	10.15	103.53
	3		28	1173.4	10.18	10.08	102.61
	4		28	1170.3	10.13	10.20	103.33
	5		28	1190.4	10.14	10.18	103.23
	6		28	1185.3	10.16	10.19	103.53
M-7	1	**5% M+10%J**	28	1195.5	10.20	10.18	103.84
	2		28	1155.8	10.09	10.15	102.41
	3		28	1160.3	10.01	10.20	102.10
	4		28	1054.1	10.05	10.10	101.51
	5		28	1053.3	10.00	10.12	101.20
	6		28	1055.3	10.19	10.15	103.43
M-8	1	**7% M+5%J**	28	1155.2	10.08	10.10	101.81

	2		28	1140.1	10.02	10.15	101.70
	3		28	1132.1	10.10	10.05	101.51
	4		28	1031.5	10.05	10.10	101.51
	5		28	1036.8	10.10	10.08	101.81
	6		28	1040.2	10.06	10.12	101.81
M-9	1	**7% M+7%J**	28	1105.1	10.13	10.19	103.22
	2		28	1098.7	10.08	10.15	102.31
	3		28	1101.7	10.11	10.09	102.01
	4		28	1097.2	10.21	10.10	103.12
	5		28	1096.9	10.11	10.07	101.81
	6		28	1099.8	10.06	10.06	101.20
M-10	1	**7% M+10%J**	28	1018.1	10.08	10.09	101.71
	2		28	1025.9	10.05	10.15	102.01
	3		28	1038.3	10.12	10.08	102.01
	4		28	1020.2	10.10	10.06	101.61
	5		28	1025.3	10.06	10.01	100.70
	6		28	1024.3	10.11	10.50	106.16

Nota: Registro de carga máxima y dimensiones de los especímenes cúbicos ensayados a compresión, conforme a la NTP E.080.

4.5.13. *Ensayo de resistencia a la compresión axial en pilas*

Para la determinación de la resistencia a la compresión axial (f'm), se confeccionaron pilas de albañilería con dimensiones promedio de 36 x 18 x 46 cm. En su elaboración se emplearon unidades de adobe (según la configuración normalizada) unidas con un mortero compatible a base de barro, similar al utilizado tradicionalmente en la zona de estudio.

Los especímenes se sometieron a un proceso de curado y secado en ambiente natural durante 28 días antes de la ejecución del ensayo, cumpliendo con las prácticas habituales para la albañilería de tierra. Posteriormente, las pilas fueron colocadas en la máquina de ensayo, donde se les aplicó una carga axial creciente y uniforme hasta alcanzar el punto de falla.

Finalmente, se registró la carga máxima soportada por cada espécimen para calcular el esfuerzo a la compresión en kg/cm^2, determinando los valores promedio para cada dosificación.

Figura 16

Ensayo de resistencia a compresión axial.

Nota: Ejecución del ensayo de pilas para determinar la resistencia de la albañilería (f'm).

Tabla 8

Tabla de datos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión simple de pilas de albañilería.

CODIGO	MUESTRA	DESCRIPCION	EDAD	DIAL	SUPERFICIE DE CONTACTO		
					LARGO	ANCHO	AREA
			(días)	kg	cm	cm	cm2
M-1	1	ADOBE CONVENCIONAL	28	9094	36.15	18.00	650.7
	2		28	9098	36.21	18.21	659.4
	3		28	9093	36.10	18.15	655.2
	4		28	9091	36.12	18.30	661.0
	5		28	9095	36.15	18.40	665.2
	6		28	9079	36.33	17.90	650.3
M-2	1	MUESTRAS 2%M+5%J	28	10258	36.15	18.00	650.7
	2		28	10249	36.21	18.21	659.4
	3		28	10268	36.10	18.15	655.2
	4		28	10230	36.05	18.00	648.9
	5		28	10244	36.00	18.20	655.2
	6		28	10230	36.20	18.10	655.2
M-3	1	MUESTRAS 2%M+7%J	28	12743	36.14	18.08	653.3
	2		28	12490	36.12	18.20	657.4
	3		28	12759	36.07	18.11	653.2
	4		28	12932	36.00	18.00	648.0

	5		28	12528	36.00	18.20	655.2
	6		28	12979	39.50	18.00	711.0
M-4	1	MUESTRAS 2%M+10%J	28	11411	36.10	18.12	654.1
	2		28	11120	36.24	18.24	661.0
	3		28	11204	36.11	18.19	656.8
	4		28	11209	36.30	18.10	657.0
	5		28	11233	36.40	18.00	655.2
	6		28	11258	36.20	18.10	655.2
M-5	1	MUESTRAS 5%M+5%J	28	10987	36.05	18.10	652.5
	2		28	10991	36.12	18.05	652.0
	3		28	10785	36.02	18.15	653.8
	4		28	10580	36.00	18.00	648.0
	5		28	10877	36.10	18.30	660.6
	6		28	11002	36.20	18.10	655.2
M-6	1	MUESTRAS 5%M+7%J	28	10404	36.01	18.15	653.6
	2		28	10361	36.07	18.01	649.6
	3		28	10475	36.13	18.14	655.4
	4		28	10500	36.00	18.10	651.6
	5		28	10373	36.00	18.20	655.2
	6		28	10757	36.00	18.00	648.0
M-7	1	MUESTRAS 5%M+10%J	28	10117	36.06	18.01	649.4
	2		28	10428	36.08	18.15	654.9
	3		28	10319	36.10	18.11	653.8
	4		28	10412	36.00	18.00	648.0
	5		28	10122	36.20	18.10	655.2
	6		28	10314	36.10	18.00	649.8
M-8	1	MUESTRAS 7%M+5%J	28	9915	36.11	18.06	652.1
	2		28	9818	36.15	18.21	658.3
	3		28	10111	36.07	18.18	655.8
	4		28	9610	36.00	18.00	648.0
	5		28	9845	36.10	18.00	649.8
	6		28	9513	36.00	18.20	655.2
M-9	1	MUESTRAS 7%M+7%J	28	9602	36.21	18.18	658.3
	2		28	9861	36.05	18.21	656.5
	3		28	9681	36.20	18.19	658.5
	4		28	9877	36.00	18.00	648.0
	5		28	9565	36.20	18.10	655.2
	6		28	9978	36.10	18.20	657.0
M-10	1	MUESTRAS 7%M+10%J	28	9226	36.01	18.09	651.4
	2		28	9010	36.15	18.16	656.5
	3		28	9003	36.17	18.20	658.3
	4		28	9101	36.00	18.00	648.0
	5		28	9098	36.20	18.00	651.6
	6		28	9195	36.10	18.20	657.0

Nota: Datos de carga y área para el cálculo de resistencia a la compresión axial (f'm) en pilas de albañilería (NTP E.080).

4.5.14. *Ensayo de resistencia a la compresión diagonal en muretes*

Se construyeron muretes cuadrados con dimensiones efectivas de 54 cm x 54 cm y un espesor de 18 cm, correspondiendo a la geometría resultante del aparejo de las unidades fabricadas. Para garantizar la validez del ensayo como evaluación integral del sistema de albañilería, se aplicó un estricto protocolo de compatibilidad de materiales en el mortero de asentado:

- Para los muretes del Grupo Control, se empleó el mortero tradicional (suelo + paja).
- Para los muretes de los Grupos Experimentales, se prepararon morteros diferenciados que replicaron exactamente la dosificación de la unidad; es decir, la mezcla de la junta contuvo los mismos porcentajes de madera pulverizada y mucílago de Jahuacollay que los adobes que unía.

Durante el asentado, se controló el espesor de las juntas horizontales y verticales mediante el uso de escantillones, asegurando un espesor uniforme de 10 mm a 15 mm. El exceso de mortero (rebasamiento) fue cortado al ras, sin realizar acabados o bruñados profundos que alteraran la sección resistente efectiva (18 cm x 54 cm).

Los especímenes fueron almacenados en el laboratorio por un periodo de 28 días, protegidos de corrientes de aire y sol directo para evitar fisuras por retracción plástica y permitir el endurecimiento completo de la mezcla estabilizada.

Previo al ensayo, se acondicionaron los dos vértices diagonalmente opuestos donde se aplicaría la carga. Se realizó un refrentado o "capping" con pasta de yeso de alta resistencia en una longitud de apoyo aproximada de 9 cm (equivalente a 1/6 de la longitud del lado). Este procedimiento tuvo como finalidad nivelar las superficies de contacto y garantizar una transferencia de carga uniforme desde los cabezales metálicos hacia la albañilería.

El ensayo se ejecutó siguiendo los lineamientos de la Norma E.080 y ASTM E519

- El murete se colocó en la prensa universal rotado 45 grados, descansando el vértice inferior sobre una zapata metálica en "V" perfectamente nivelada. Se colocó la zapata superior en el vértice opuesto, verificando la plomada vertical del eje de carga.
- Se aplicó una carga compresiva monótona a una velocidad controlada, induciendo un estado de tracción diagonal en el centro del panel.
- Se monitoreó el desarrollo de fisuras y se registró la Carga Máxima (Pmax) en el instante de la falla, caracterizada típicamente por una grieta que divide el murete en dos mitades triangulares.

Figura 17

Ensayo de resistencia a compresión diagonal

Nota: Ensayo de muretes sometidos a carga diagonal para evaluar la resistencia al corte.

Tabla 9

Tabla de datos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión diagonal de muretes de albañilería.

CODIGO	MUESTRA	DESCRIPCION	EDAD	DIAL	SUPERFICIE DE CONTACTO		
					LARGO	ANCHO	AREA
			(días)	kg	cm	cm	cm2
M-1	1	ADOBE CONVENCIONAL	28	541	54.1	18.2	54.1
	2		28	540	54.1	18.1	54.0
	3		28	564	54.2	18.1	54.0
	4		28	535	54.0	18.0	54.0
	5		28	506	54.0	18.0	54.2
	6		28	559	54.2	18.2	54.0
M-2	1	MUESTRA 2%M+5%J	28	796	54.2	18.2	54.0
	2		28	790	54.1	18.1	54.0
	3		28	779	54.5	18.3	54.0
	4		28	740	54.3	18.2	54.2
	5		28	752	54.5	18.4	54.1
	6		28	764	54.2	18.1	54.0
M-3	1	MUESTRA 2%M+7%J	28	1039	54.1	18.2	54.0
	2		28	1018	54.2	18.1	54.0
	3		28	1029	54.1	18.1	54.1
	4		28	1046	54.0	18.2	54.2
	5		28	973	54.2	18.2	54.0
	6		28	994	54.0	18.0	54.3
M-4	1	MUESTRA 2%M+10%J	28	982	54.2	18.1	54.2
	2		28	958	54.1	18.2	54.1
	3		28	984	54.1	18.1	54.0
	4		28	920	54.2	18.0	54.0
	5		28	939	54.3	18.2	54.2
	6		28	985	54.0	18.2	54.3
M-5	1	MUESTRA 5%M+5%J	28	935	54.1	18.6	54.0
	2		28	925	54.2	18.2	54.0
	3		28	909	54.2	18.3	54.1
	4		28	908	54.0	18.0	54.0
	5		28	900	54.2	18.1	54.0
	6		28	948	54.1	18.2	54.0
M-6	1	MUESTRA 5%M+7%J	28	892	54.1	18.2	54.1
	2		28	876	54.2	18.2	54.0
	3		28	813	54.2	18.3	54.0
	4		28	860	54.0	18.0	54.1

	5		28	872	54.2	18.0	54.2
	6		28	881	54.2	18.2	54.0
M-7	1	MUESTRA 5%M+10%J	28	788	54.2	18.2	54.0
	2		28	735	54.1	18.1	54.0
	3		28	729	54.1	18.2	54.2
	4		28	730	54.2	18.1	54.1
	5		28	732	54.1	18.2	54.2
	6		28	731	54.3	18.0	54.3
M-8	1	MUESTRA 7%M+5%J	28	688	54.2	18.2	54.2
	2		28	696	54.1	18.1	54.2
	3		28	639	54.2	18.1	54.1
	4		28	680	54.3	18.0	54.3
	5		28	642	54.2	18.0	54.2
	6		28	640	54.5	18.2	54.1
M-9	1	MUESTRA 7%M+7%J	28	602	54.1	18.2	54.0
	2		28	682	54.2	18.1	54.0
	3		28	601	54.3	18.3	54.0
	4		28	600	54.2	18.0	54.2
	5		28	698	54.1	18.0	54.1
	6		28	695	54.0	18.2	54.0
M-10	1	MUESTRA 7%M+10%J	28	584	54.2	18.1	54.0
	2		28	598	54.1	18.2	54.1
	3		28	599	54.2	18.1	54.2
	4		28	580	54.0	18.0	54.0
	5		28	582	54.0	18.2	54.0
	6		28	569	54.2	18.3	54.2

Nota: Registro de carga de rotura y dimensiones en el ensayo de compresión diagonal para evaluar corte (ASTM E519)

4.5.15. *Ensayo de succión*

Este ensayo se realizó con el objetivo de evaluar la permeabilidad superficial y la tendencia del material a absorber agua mediante capilaridad. Para ello, se emplearon especímenes con superficies de asiento planas y limpias, asegurando un área de contacto definida para el ingreso del fluido.

Previo al contacto con el agua, las muestras fueron secadas en estufa hasta alcanzar su masa constante (Mseca), eliminando la humedad higroscópica de los poros para no alterar los resultados. Se registró el peso seco y se midieron las dimensiones de la cara de asiento

para determinar el área bruta de succión (A).

El ensayo consistió en colocar la cara inferior del espécimen sobre unos soportes dentro de una bandeja con agua, manteniendo una lámina de inmersión constante de aproximadamente 3 mm. El contacto con el agua se mantuvo durante un intervalo cronometrado de exactamente 1 minuto. Transcurrido este tiempo, se retiró la muestra y se secó el agua superficial con un paño húmedo para proceder al pesaje inmediato (Mhúmeda).

La cantidad de agua absorbida se determinó por la diferencia de masas (Mhúmeda-Mseca. Con este valor, se calculó la Velocidad Inicial de Succión normalizada al área de contacto, expresada en g/(cm^2 x min). Este parámetro permitió comparar la hidrofobicidad lograda por la incorporación de mucílago y residuos de madera frente a la alta absorción típica del adobe tradicional.

Figura 18

Ensayo de succión en las muestras de adobe.

Nota: Medición de la velocidad inicial de absorción (IRA) colocando la unidad sobre lámina de agua.

Tabla 10

Tabla de datos obtenidos en el ensayo de succión de adobes.

DESCRIPCION	VOLUMEN INICIAL DE AGUA (gr)	TIEMPO DE SUCCION (min)	VOLUMEN FINAL DE AGUA (gr)	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	AREA TOTAL (cm2)
ADOBE TRADICIONAL	3652	1	3705	36	18	648
	3656	1	3710	36	18	648
	3656	1	3709	36	18	648
	3656	1	3709	36	18	648
	3656	1	3709	36	18	648
	3656	1	3710	36	18	648
2% DE MADERA + 5% DE JAHUANCCOLLAY	3666.36	1	3712.63	36	18	648
	3696.19	1	3742.06	36	18	648
	3683.39	1	3729.21	36	18	648
	3666.1	1	3713.15	36	18	648
	3667.74	1	3713.78	36	18	648
	3688.47	1	3735.48	36	18	648
2% DE MADERA + 7% DE JAHUANCCOLLAY	3696.9	1	3740.96	36	18	648
	3690.11	1	3734.36	36	18	648
	3660.45	1	3704.75	36	18	648
	3654.04	1	3698.09	36	18	648
	3661.62	1	3705.83	36	18	648
	3692.21	1	3734.91	36	18	648
2% DE MADERA + 10% DE JAHUANCCOLLAY	3683.56	1	3729.84	36	18	648
	3672.63	1	3718.564	36	18	648
	3662.26	1	3709.42	36	18	648
	3662.84	1	3709.07	36	18	648
	3690.26	1	3737.99	36	18	648
	3659.08	1	3705.31	36	18	648
5% DE MADERA + 5% DE JAHUANCCOLLAY	3671.13	1	3718.14	36	18	648
	3676.58	1	3723.96	36	18	648
	3687.07	1	3735.77	36	18	648
	3658.62	1	3703.9	36	18	648
	3655.17	1	3703.57	36	18	648
	3662.61	1	3709.38	36	18	648
5% DE MADERA + 7% DE JAHUANCCOLLAY	3678.34	1	3726.8	36	18	648
	3653.68	1	3704.196	36	18	648
	3691.85	1	3739.851	36	18	648
	3692.98	1	3741.52	36	18	648
	3658.54	1	3709.07	36	18	648

	3661.84	1	3709.8	36	18	648
5% DE MADERA + 10% DE JAHUANCCOLLAY	3652.36	1	3702.24	36	18	648
	3694.49	1	3744.72	36	18	648
	3679.82	1	3729.27	36	18	648
	3674.97	1	3724.54	36	18	648
	3697.19	1	3746.97	36	18	648
	3693.08	1	3742.46	36	18	648
7% DE MADERA + 5% DE JAHUANCCOLLAY	3669.19	1	3730.79	36	18	648
	3657.96	1	3708.29	36	18	648
	3663.65	1	3713.63	36	18	648
	3680.96	1	3727.4	36	18	648
	3672.03	1	3718.42	36	18	648
	3691.33	1	3736.49	36	18	648
7% DE MADERA + 7% DE JAHUANCCOLLAY	3676.8	1	3727.25	36	18	648
	3660.12	1	3710.8	36	18	648
	3679.91	1	3730.5	36	18	648
	3666.45	1	3716.84	36	18	648
	3680.81	1	3731.79	36	18	648
	3680.7	1	3730.9	36	18	648
7% DE MADERA + 10% DE JAHUANCCOLLAY	3674.9	1	3727.62	36	18	648
	3669.32	1	3718.56	36	18	648
	3693.7	1	3742.95	36	18	648
	3681.29	1	3730.92	36	18	648
	3685.35	1	3738.24	36	18	648
	3695.27	1	3749.01	36	18	648

Nota: Pesos iniciales y finales registrados para el cálculo de la velocidad inicial de succión (IRA), según ASTM C67.

4.5.16. *Ensayo de absorción*

Se programó la ejecución del ensayo de absorción por inmersión total con el objetivo de cuantificar el porcentaje de porosidad permeable del material. Para ello, se emplearon especímenes previamente secados hasta masa constante, siguiendo los protocolos estándar para mampostería.

Sin embargo, durante la fase de inmersión en agua, se observó una pérdida acelerada de cohesión en la matriz arcillosa. A diferencia de las unidades de albañilería cocida o de concreto, los especímenes de adobe (tanto del grupo control como los experimentales)

experimentaron un proceso de disgregación estructural (slaking) a los pocos minutos de contacto con el fluido.

Debido a que la muestra se desmoronó antes de completar el periodo normativo de saturación (24 horas), resultó técnicamente inviable registrar el peso en estado saturado con superficie seca (Psss). En consecuencia, el ensayo cuantitativo fue desestimado, registrándose el fenómeno como una evidencia de la baja resistencia del material a la saturación total, comportamiento característico de la albañilería de tierra cruda que no ha sido sometida a procesos de estabilización química impermeabilizante de alto grado.

Tabla 11

Tabla de datos obtenidos en el ensayo de absorción de adobes.

Código	N.º de Unidad	Descripción	Edad del espécimen (días)	Peso seco (gr)	Tiempo de absorción (min)	Peso saturado (gr)
M-1	1	ADOBE CONVENCIONAL	28	11363.3	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	2		28	11295.9	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	3		28	11306.6	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	4		28	11413.6	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	5		28	11280.3	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	6		28	11335.2	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
M-2	1	2% MADERA + 5% DE	28	11297.2	35	No se tiene registro, dado que las unidades se

		JAHUANCOLLAY				destruyen durante el proceso
	2		28	11421.4	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	3		28	11393.5	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	4		28	11428.1	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	5		28	11330.2	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	6		28	11346.4	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	1		28	11254.7	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	2		28	11367.3	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
M-3	3	2% MADERA + 7% DE JAHUANCOLLAY	28	11253.7	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	4		28	11312.3	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	5		28	11418.2	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	6		28	11388.6	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
M-4	1	2% MADERA + 10% DE JAHUANCOLLAY	28	11323.6	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	2		28	11422.9	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso

	3		28	11350.3	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	4		28	11281.9	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	5		28	11385.9	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	6		28	11270.1	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
M-5	1	5% MADERA + 5% DE JAHUANCOLLAY	28	11333.5	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	2		28	11399.5	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	3		28	11382.3	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	4		28	11409.4	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	5		28	11306.8	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	6		28	11310.9	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
M-6	1	5% MADERA + 7% DE JAHUANCOLLAY	28	11373.4	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	2		28	11270.5	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	3		28	11395	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	4		28	11262.1	35	No se tiene registro, dado que las unidades se

						destruyen durante el proceso
	5		28	11386.3	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	6		28	11248.6	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
M-7	1	5% MADERA + 10% DE JAHUANCOLLAY	28	11376.3	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	2		28	11313.2	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	3		28	11431.7	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	4		28	11303.5	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	5		28	11383.4	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	6		28	11418.9	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
M-8	1	7% MADERA + 5% DE JAHUANCOLLAY	28	11378.4	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	2		28	11384.6	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	3		28	11386.1	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	4		28	11279.2	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	5		28	11367.4	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso

	6		28	11295.8	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
M-9	1	7% MADERA + 7% DE JAHUANCOLLAY	28	11403.4	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	2		28	11267.5	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	3		28	11266.4	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	4		28	11325.8	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	5		28	11418.6	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	6		28	11375.2	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
M-10	1	7% MADERA + 10% DE JAHUANCOLLAY	28	11291.6	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	2		28	11428.1	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	3		28	11305	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	4		28	11316.9	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	5		28	11269.5	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso
	6		28	11372.2	35	No se tiene registro, dado que las unidades se destruyen durante el proceso

Nota: Observaciones del comportamiento de las unidades sometidas a inmersión.

4.5.17. *Condiciones de los procedimientos de ensayo*

Los ensayos se realizaron a los 28 días de secado natural, manteniendo condiciones homogéneas de exposición, ventilación y temperatura ambiente propias del distrito de San Jerónimo, siguiendo los criterios establecidos en la NTP E.080 – Adobe y la ASTM C67.

4.6. Análisis de datos

El procesamiento de los datos se realizó en estricto cumplimiento de los procedimientos de cálculo establecidos en la Norma Técnica E.080 para la determinación de las propiedades mecánicas de la albañilería de tierra, complementado con la normativa E.070 para los ensayos de durabilidad.

4.6.1. *Análisis de caracterización geotécnica*

Para determinar la aptitud del suelo según los lineamientos de la Norma E.080, se procesaron los datos de los ensayos índices aplicando las siguientes formulaciones analíticas:

a. Análisis Granulométrico (Curva Granulométrica)

A partir de los datos combinados de tamizado (fracción gruesa) e hidrometría (fracción fina), se construyó la curva granulométrica semilogarítmica. Para evaluar la distribución de partículas, se calcularon los Coeficientes de Uniformidad (Cu) y Curvatura (Cc), parámetros determinantes para verificar si el suelo está "bien graduado", utilizando las fórmulas:

$$C_U = \frac{\mathrm{D60}}{\mathrm{D10}} \quad ; \quad C_C = \frac{(\mathrm{D30})^2}{D10\ x\ D60}$$

Donde:

- D10, D30, D60: Diámetros de partícula correspondientes al 10%, 30% y 60% del porcentaje pasante acumulado, respectivamente.
- Criterio de análisis: Estos valores permitieron definir si la arena arcillosa utilizada cumple con la gradación recomendada para adobes (arcilla 10-20%,

limo 15-25%, arena 55-70%).

De la curva granulométrica y las tablas de resultados procesados se obtuvieron los siguientes componentes:

- Grava (> 4.75 mm): 0.00 %
- Arena (4.75 mm - 0.075 mm): 60.79 %
- Finos (< 0.075 mm): 39.21 %

Al realizar el desglose de la fracción fina mediante el ensayo de hidrometría, se determinó la siguiente distribución de micropartículas:

- Limo (0.002 mm - 0.075 mm): 20.78 %
- Arcilla (< 0.002 mm): 18.43 %

Interpretación de Idoneidad: Al comparar estos resultados con los rangos ideales recomendados para la elaboración de adobe (Norma E.080 y literatura especializada citada en la tesis), se observa un cumplimiento satisfactorio de todos los componentes:

Contenido de Arena: El valor obtenido (60.79%) se encuentra dentro del rango óptimo de 55% - 70%. Esto garantiza la estabilidad volumétrica de la unidad y reduce la fisuración durante el secado.

Contenido de Limo: El valor (20.78%) cumple con el intervalo sugerido de 15% - 25%, actuando correctamente como relleno granular fino.

Contenido de Arcilla: El porcentaje de arcilla (18.43%) se sitúa dentro del rango ideal de 10% - 20%. Este valor es crítico, pues proporciona la cohesión necesaria ("liga") sin excederse, evitando así contracciones excesivas.

b. Límites de Consistencia y Plasticidad

Se determinó el rango de humedad en el cual el suelo mantiene un comportamiento plástico, calculando el Índice de Plasticidad (IP) como la diferencia aritmética entre los límites obtenidos experimentalmente:

IP = LL - LP

Donde:

- LL: Límite Líquido (humedad para cierre de ranura a 25 golpes).
- LP: Límite Plástico (humedad límite para agrietamiento en rollos de 3 mm).
- Propósito: Este indicador validó la trabajabilidad de la mezcla. Un IP medio garantiza cohesión sin retracción excesiva, fundamental para evitar fisuras en el secado.

c. Clasificación de Suelos (SUCS)

Con los parámetros anteriores, se procedió a la clasificación del material según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (ASTM D2487). Se ubicó el par ordenado (LL, IP) en la Carta de Plasticidad de Casagrande para determinar si la fracción fina correspondía a arcillas o limos de baja/alta compresibilidad.

- Lógica de decisión:

Si IP > 7 y se ubica sobre la línea "A": Arcilla magra (CL).

Si IP < 4 o debajo de la línea "A": Limo (ML).

- Esta clasificación permitió confirmar científicamente que el suelo de San Jerónimo corresponde a un material apto para la estabilización con mucílago.

Los ensayos de límites de consistencia (NTP 339.129 / ASTM D-4318) permitieron evaluar la plasticidad de la fracción fina del suelo. Los valores obtenidos fueron:

- Límite Líquido (LL): 26.10 %
- Límite Plástico (LP): 16.92 %
- Índice de Plasticidad (IP): 9.18 %

Análisis: El Índice de Plasticidad de 9.18% clasifica al suelo como de plasticidad media-baja. Para fines de mampostería de tierra, esto es favorable, ya que indica que el suelo tiene suficiente arcilla para ser moldeable y mantener su forma (cohesión), pero no es tan

plástico como para generar problemas graves de expansión o cambios de volumen ante la humedad.

Datos de límites de Attemberg

Considerando que más del 50% del material es retenido en el tamiz N° 200 (60.79% de arena) y que la fracción fina posee un Índice de Plasticidad > 7 (IP=9.18) ubicándose por encima de la línea "A" en la Carta de Plasticidad, el suelo se clasifica como:

SC: Arena Arcillosa

Sistema AASHTO (M-145)

Dado que el porcentaje que pasa el tamiz N° 200 es 39.21% (mayor al 35%), el suelo cae dentro de los materiales limo-arcillosos. Con un LL < 40 y un IP < 10, corresponde al grupo: A-4 (0)

4.6.2. *Determinación de indicadores físico-mecánicos*

Los valores de resistencia y propiedades físicas se obtuvieron aplicando las siguientes formulaciones, coherentes con los criterios de aceptación de la norma:

a. Resistencia a la Compresión de la Unidad

Conforme a lo estipulado para el control de calidad de la unidad, se determinó el esfuerzo último (fo) sobre cubos labrados con dimensión igual a la menor arista de la unidad. El cálculo se realizó con la relación carga/área directa:

$$f_o = \frac{P}{A}$$

Donde:

fo: Resistencia a la compresión de la unidad (kg/cm2).

P: Carga de rotura (kg).

A: Área de la sección transversal de la probeta (cm2).

Nota: Se verificó que los resultados superen el mínimo de 12 kg/cm2 exigido por la

norma.

b. Resistencia a la Compresión Axial en Pilas (Albañilería)

Para determinar la resistencia a la compresión de la albañilería (f'm), se analizaron los datos obtenidos de los prismas (pilas) conformados por unidades asentadas con mortero. Este cálculo es fundamental para validar la compatibilidad mecánica entre la unidad y el mortero. Se aplicó la fórmula de esfuerzo axial directo sobre el área bruta, conforme a los reportes de resultados:

$$f_m = \frac{P}{A}$$

Donde:

- fm: Resistencia característica a la compresión axial de la albañilería (kg/cm2).
- P: Carga de rotura registrada por la prensa (kg).
- A: Área bruta promedio de la sección transversal de la pila.

c. Resistencia a la Compresión Diagonal en Muretes

Adicionalmente al esfuerzo de corte, se analizó la resistencia a la tracción por hendimiento diagonal (f't), propiedad mecánica que gobierna el agrietamiento inicial del murete. Considerando que la falla ocurre por una tensión principal perpendicular a la diagonal cargada, se utilizó la expresión general de la teoría de la elasticidad para placas, desglosando el área en sus dimensiones lineal (L) y espesor del muro (em):

$$f_t = \frac{P}{2 \times L \times e_m}$$

Donde:

- ft: Resistencia al corte (kg/cm2).
- P: Carga máxima de rotura (kg).
- L: Longitud del lado del murete (cm).

- em: Espesor efectivo del muro (cm).

Para la determinación de las resistencias finales de diseño, se adoptó el criterio del valor característico en lugar del promedio aritmético simple, siguiendo los lineamientos de seguridad estadística aplicables a la albañilería (Norma E.070)

d. Velocidad Inicial de Succión (IRA)

Aunque la norma E.080 se enfoca en la prueba de "cinta de barro", para garantizar la durabilidad ante la humedad (crítico en la norma), se calculó la succión normalizada según el procedimiento estándar de albañilería (referencia E.070/ASTM C67), aplicando el factor de corrección de área:

$$\text{IRA} = \frac{P_{humedo} - P_{seco}}{\text{A}_{contacto} \times t} \times 200$$

Donde:

IRA: Succión normalizada (g/min/200cm2).

200: Factor de corrección para estandarizar el valor a un área de 200 cm2.

4.6.3. *Tratamiento estadístico inferencial*

El análisis de significancia se ejecutó con el software IBM SPSS v.25, bajo un nivel de confianza del 95% (α= 0.05):

Verificación de Normalidad: Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, confirmando que la resistencia en pilas sigue una distribución normal (permitiendo ANOVA), mientras que la compresión diagonal y succión presentan distribuciones no paramétricas (requiriendo Kruskal-Wallis).

Pruebas de Comparación Múltiple:

Para validar la hipótesis de mejora, se utilizó la prueba post-hoc de Duncan. Esta prueba clasificó a la dosificación "2% MP + 7% MJ" en el subconjunto homogéneo superior, demostrando estadísticamente ser la mezcla óptima con diferencias significativas respecto

al adobe patrón.

4.7. Consideraciones éticas

La presente investigación se desarrolló respetando de manera estricta los principios éticos establecidos para proyectos de ingeniería y ciencias aplicadas, garantizando la transparencia, el manejo adecuado de materiales y la integridad del proceso científico.

En primer lugar, el estudio no involucró seres humanos ni animales, por lo que no requirió procedimientos de consentimiento informado. No obstante, y siguiendo las buenas prácticas universitarias, se solicitó la revisión y validación metodológica del proyecto ante la unidad académica correspondiente, asegurando que el diseño experimental, la manipulación de materiales y la disposición de residuos cumplieran con las normas institucionales.

Asimismo, la fabricación de los adobes y la ejecución de ensayos destructivos se realizaron en un ambiente controlado, utilizando protocolos de seguridad para evitar accidentes y minimizar riesgos en las labores de manipulación, transporte y ensayo de las muestras. Los residuos generados fragmentos de adobe, material pulverizado, restos de mezclas y empaques fueron gestionados conforme a buenas prácticas de ingeniería ambiental, disponiéndolos en contenedores diferenciados y entregándolos a los servicios municipales del distrito de San Jerónimo para su disposición final, evitando su vertimiento inadecuado o abandono en el área de estudio.

Por otro lado, se promovió el uso responsable de recursos, priorizando materiales locales y residuos valorizables (como la madera pulverizada proveniente de parquet), reduciendo con ello el impacto ambiental y fomentando criterios de economía circular. Durante todo el proceso se mantuvo un registro fiel de los datos obtenidos, sin manipulación, alteración intencional ni selección sesgada de resultados, garantizando la veracidad y reproducibilidad del estudio.

Finalmente, todas las fuentes bibliográficas, normativas y antecedentes fueron citadas conforme a lineamientos académicos vigentes, respetando la propiedad intelectual. La investigación se encuadra plenamente en los principios de honestidad, responsabilidad social, sostenibilidad ambiental y rigurosidad científica que rigen la actividad universitaria.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. *Resultados del objetivo específico 1*

Tabla 12

Tabla de datos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión.

Adición	M1	M2	M3	M4	M5	M6	Suma	Promedio	Desv. Est.	Resistencia característica (f'o).
AC	10.72	10.65	10.36	10.22	10.24	10.28	62.47	10.41	0.22	10.19
2%MP+ 5%MJ	12.81	12.59	12.65	12.65	12.59	12.48	75.77	12.63	0.11	12.52
2%MP+ 7%MJ	13.60	13.30	13.42	13.45	13.48	13.50	80.75	13.46	0.10	13.36
2%MP+ 10%MJ	12.77	12.65	12.57	12.54	12.55	12.45	75.53	12.59	0.11	12.48
5%MP+ 5%MJ	12.31	12.30	12.47	12.48	12.50	12.47	74.53	12.42	0.09	12.33
5%MP+ 7%MJ	11.82	11.96	11.73	11.70	11.90	11.85	70.96	11.83	0.10	11.73
5%MP+ 10%MJ	11.96	11.56	11.60	10.54	10.53	10.55	66.74	11.12	0.65	10.47
7%MP+ 5%MJ	11.55	11.40	11.32	10.32	10.37	10.40	65.36	10.89	0.59	10.3
7%MP+ 7%MJ	11.05	10.99	11.02	10.97	10.97	11.00	66.00	11.00	0.03	10.97
7%MP+ 10%MJ	10.18	10.26	10.38	10.20	10.25	10.24	61.51	10.25	0.07	10.18

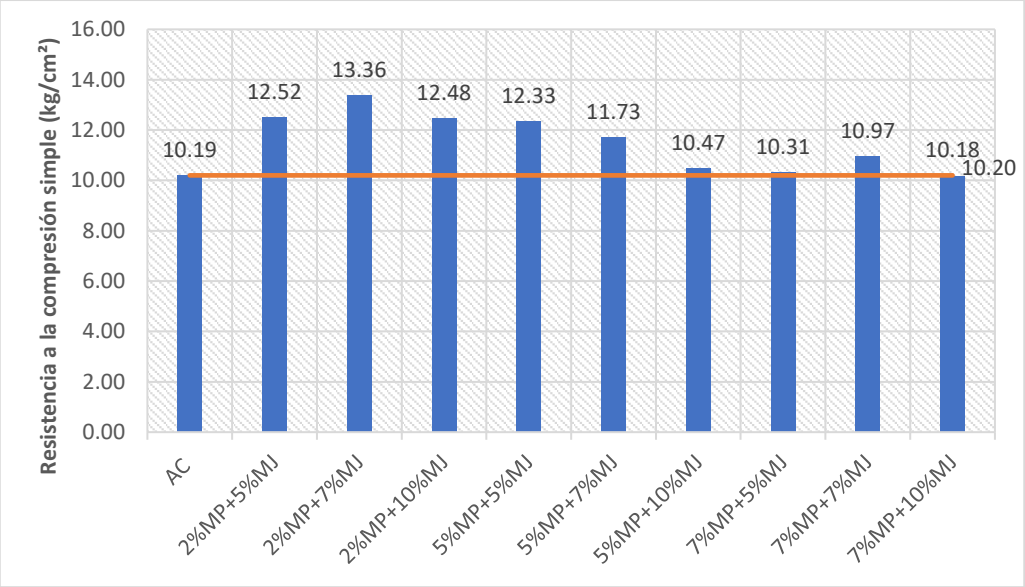
Nota: Estadística descriptiva de la resistencia a la compresión simple (fo) obtenida para cada grupo experimental.

En la Tabla 12 se presentan los resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple realizados en las diferentes formulaciones de adobes experimentales, tanto tradicionales como con adiciones de madera pulverizada de residuos de parquet (MP) y mucílago de Jahuacollay (MJ). El adobe tradicional (AC) obtuvo un promedio de 10.19 kg/cm², mientras que las mezclas con 2%MP+5%MJ, 2%MP+7%MJ y 2%MP+10%MJ alcanzaron valores de 12.63, 13.36 y 12.48 kg/cm², evidenciando un incremento

considerable en la capacidad resistente. Asimismo, los adobes con 5%MP+5%MJ, 5%MP+7%MJ y 5%MP+10%MJ registraron promedios de 12.33, 11.73 y 11.47 kg/cm², manteniendo un comportamiento uniforme. Por último, las formulaciones con 7%MP+5%MJ, 7%MP+7%MJ y 7%MP+10%MJ presentaron valores de 10.3, 10.97 y 10.18 kg/cm², mostrando una leve reducción en comparación con las adiciones de menor porcentaje.

Figura 19

Promedios de la resistencia a la compresión simple del adobe con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de jahuacollay.



Nota: Comparación de la resistencia promedio a compresión (fo) entre el grupo control y los experimentales.

La Figura 19 muestra de manera gráfica los promedios de resistencia a la compresión simple de las diferentes mezclas, donde se aprecia que la formulación 2%MP+7%MJ alcanzó el valor más alto con 13.36 kg/cm², superando el límite mínimo establecido por la Norma E.080 (10.20 kg/cm²). En general, se observa que las adiciones moderadas de MP y MJ mejoran la compactación y cohesión del adobe, mientras que el exceso de estos componentes

puede reducir ligeramente la resistencia mecánica del material.

5.1.2. *Resultados del objetivo específico 2*

Tabla 13

Tabla de datos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión de pilas de adobe.

Adición	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	Promedio	Desv. Est.	Resistencia característica (f'm)
Adobe tradicional (A1)	13.98	13.8	13.88	13.75	13.67	13.96	13.84	0.12	13.72
2% MP + 5% MJ (A2)	15.76	15.54	15.67	15.77	15.63	15.61	15.66	0.09	15.57
2% MP + 7% MJ (A3)	19.5	19.00	19.53	19.96	19.12	18.25	19.23	0.59	18.64
2% MP + 10% MJ (A4)	17.44	16.82	17.06	17.06	17.14	17.18	17.12	0.2	16.91
5% MP + 5% MJ (A5)	16.84	16.86	16.50	16.33	16.46	16.79	16.63	0.23	16.40
5% MP + 7% MJ (A6)	15.92	15.95	15.98	16.11	15.83	16.60	16.07	0.28	15.79
5% MP + 10% MJ (A7)	15.58	15.92	15.78	16.07	15.45	15.87	15.78	0.23	15.55
7% MP + 5% MJ (A8)	15.20	14.91	15.42	14.83	15.15	14.52	15.01	0.32	14.69
7% MP + 7% MJ (A9)	14.59	15.02	14.70	15.24	14.60	15.19	14.89	0.3	14.59
7% MP + 10% MJ (A10)	14.16	13.73	13.68	14.04	13.96	14.00	13.93	0.19	13.74

Nota: Valores promedio y característicos de la resistencia a la compresión axial (f'm) de la albañilería.

Los valores obtenidos en los ensayos de compresión axial permiten comprender con claridad el comportamiento mecánico del adobe tradicional y de las distintas mezclas elaboradas con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay. Para contextualizar adecuadamente los hallazgos, es importante recordar que la resistencia mínima exigida como línea base es de 6.12 kg/cm², valor que establece el umbral de desempeño estructural que deben cumplir las unidades de albañilería de adobe.

Desde esta referencia, el adobe tradicional evaluado en el estudio alcanzó una resistencia promedio de 13.72 kg/cm², más del doble del valor mínimo requerido. Este

resultado confirma que el suelo local de San Jerónimo posee condiciones naturales favorables para la fabricación de adobes, aunque mantiene las limitaciones típicas del material tradicional, especialmente en relación con su fragilidad y su tendencia al agrietamiento.

Cuando se incorporaron los aditivos evaluados, se observaron cambios importantes en la capacidad portante del material. Las mezclas elaboradas con 2% de madera pulverizada de residuos de parquet mostraron un comportamiento particularmente interesante: todas superaron la resistencia del adobe tradicional, pero una de ellas destacó de manera notable. La mezcla 2% MP + 7% MJ fue la que presentó el desempeño más sobresaliente, alcanzando una resistencia promedio de 18.64 kg/cm², lo que representa un incremento cercano al 36% respecto al adobe tradicional y triplica la línea base mínima de 6.12 kg/cm². Este resultado sugiere que una dosis reducida de refuerzo lignocelulósico, acompañada de una proporción moderada de mucílago, genera una matriz más integrada, con mejores puentes internos de transferencia de carga y mayor cohesión entre partículas.

Las otras dosificaciones con 2% de madera pulverizada de residuos de parquet también evidenciaron mejoras, aunque en menor magnitud. La mezcla con 5% de mucílago alcanzó una resistencia promedio de 15.57 kg/cm², mientras que la combinación con 10% de mucílago obtuvo 16.91 kg/cm², ambas muy por encima del umbral mínimo normativo y mostrando que el mucílago, incluso en cantidades mayores, contribuye a consolidar la mezcla, aunque sin superar el comportamiento óptimo logrado en el contenido intermedio de 7%.

Cuando la madera pulverizada de residuos de parquet se incrementó al 5%, las resistencias obtenidas se mantuvieron por encima del adobe tradicional, con valores que oscilaron entre 15.55 y 16.40 kg/cm². Estas mezclas también triplican la línea base de 6.12 kg/cm², pero ya no alcanzan la eficiencia de las dosificaciones más bajas. Este

comportamiento podría explicarse porque el incremento de partículas lignocelulósicas empieza a generar pequeñas discontinuidades que interfieren con la compactación y distribución homogénea de las cargas internas.

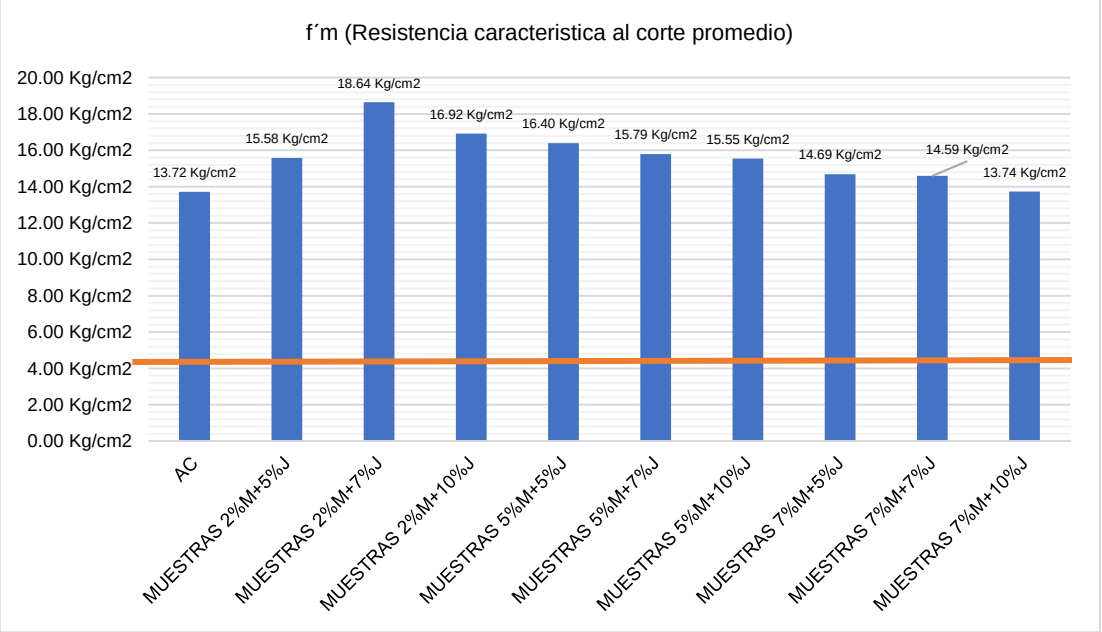
Finalmente, las mezclas con 7% de madera pulverizada de residuos de parquet mostraron un comportamiento más cercano al adobe tradicional. Sus resistencias, que fluctuaron entre 13.74 y 14.69 kg/cm², siguen siendo adecuadas desde el punto de vista normativo, pero reflejan que el exceso de material fibroso comienza a producir un efecto contrario al deseado, probablemente debido a la generación de microvacíos o zonas débiles dentro de la pieza.

En conjunto, estos resultados permiten identificar una tendencia clara: la combinación de bajos porcentajes de madera pulverizada de residuos de parquet con niveles moderados de mucílago genera la mejora más efectiva en la resistencia a la compresión del adobe. El crecimiento de la resistencia no es lineal con el incremento de aditivos; más bien depende de lograr un equilibrio entre la cohesión aportada por el mucílago y la función estructural de la madera pulverizada de residuos de parquet como refuerzo.

La mezcla 2% MP + 7% MJ no solo fue la más resistente, sino también la más eficiente en términos de aporte mecánico respecto a la cantidad de aditivo incorporado. Este comportamiento respalda la hipótesis de que los polímeros naturales presentes en el mucílago, al interactuar con pequeñas cantidades de fibras lignocelulósicas, permiten crear una red interna más estable que mejora significativamente la transmisión de esfuerzos dentro del adobe.

Figura 20

Promedios de la resistencia a la compresión de pilas de adobe con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de jahuacollay.



Nota: Variación de la resistencia a la compresión axial (f'm) según la dosificación empleada.

La Figura 20 muestra de forma gráfica los promedios de resistencia a la compresión de axial en pilas, donde se observa que la mayoría de las mezclas superan el valor mínimo exigido por la Norma E.080 (6.12 kg/cm²). En particular, la combinación 2%MP+7%MJ obtuvo la mayor resistencia con 18.64 kg/cm², confirmando que una proporción moderada de MP y MJ mejora la adherencia y cohesión entre unidades, mientras que incrementos mayores de estos aditivos tienden a mantener o reducir levemente la capacidad resistente del material.

5.1.3. *Resultados del objetivo específico 3*

Tabla 14

Tabla de datos obtenidos en el ensayo de resistencia diagonal de muretes.

Adición	M1	M2	M3	M4	M5	M6	Suma	Promedio	Desv. Est.	Resistencia característica (f't)
AC	0.28	0.28	0.29	0.28	0.26	0.28	1.66	0.28	0.01	0.27
2%MP+ 5%MJ	0.40	0.40	0.39	0.37	0.37	0.39	2.34	0.39	0.01	0.38
2%MP+ 7%MJ	0.53	0.52	0.53	0.53	0.49	0.51	3.11	0.52	0.00	0.52
2%MP+ 10%MJ	0.50	0.49	0.50	0.47	0.48	0.50	2.94	0.49	0.01	0.48
5%MP+ 5%MJ	0.46	0.47	0.46	0.47	0.46	0.48	2.80	0.47	0.01	0.46
5%MP+ 7%MJ	0.45	0.44	0.41	0.44	0.45	0.45	2.64	0.44	0.00	0.44
5%MP+ 10%MJ	0.40	0.38	0.37	0.37	0.37	0.37	2.26	0.38	0.01	0.37
7%MP+ 5%MJ	0.35	0.36	0.33	0.35	0.33	0.32	2.04	0.34	0.01	0.33
7%MP+ 7%MJ	0.31	0. 35	0.30	0.31	0.36	0.35	1.63	0.33	0.00	0.33
7%MP+ 10%MJ	0.30	0.30	0.31	0.30	0.30	0.29	1.80	0.30	0.00	0.30

Nota: Resumen de los esfuerzos de resistencia al corte (v'm) determinados en los ensayos de muretes.

En la Tabla 14 se presentan los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de muretes (kg/cm²) aplicados a las diferentes formulaciones de adobes experimentales, tanto al adobe tradicional (AC) como a los adobes con adiciones de madera pulverizada de residuos de parquet (MP) y mucílago de Jahuacollay (MJ). La compresión diagonal es un indicador fundamental de la capacidad de una albañilería para resistir esfuerzos cortantes, especialmente bajo solicitaciones sísmicas. En el caso del adobe un material históricamente frágil ante cargas laterales este parámetro adquiere una importancia todavía mayor. Los resultados obtenidos permiten comprender cómo actúa la combinación de madera

pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay en el desempeño cortante del material.

El adobe tradicional presentó una resistencia promedio de 0.27 kg/cm², reflejando su naturaleza frágil y su limitada capacidad para redistribuir esfuerzos cortantes en los muretes. Sin embargo, todas las mezclas con aditivos superaron este valor, lo que confirma que la interacción entre la madera pulverizada de residuos de parquet (refuerzo lignocelulósico) y el mucílago de Jahuacollay (polisacárido viscoso con propiedades de adherencia y sellado de poros) contribuye de manera positiva al comportamiento cortante del adobe.

La mejora más significativa se observó nuevamente en la mezcla 2% MP + 7% MJ, que alcanzó un valor promedio de 0.52 kg/cm², lo que representa un incremento del 86% respecto al adobe tradicional. Este resultado coincide con su desempeño en compresión axial, lo que sugiere que esta dosificación genera una matriz internamente más cohesionada, con una mejor distribución de los esfuerzos y una mayor capacidad para limitar la propagación de grietas diagonales, típicas de la falla cortante.

El resto de mezclas con 2% de madera pulverizada de residuos de parquet también mostró mejoras importantes:

- 2% MP + 5% MJ: 0.38 kg/cm² (39% mayor que el tradicional)
- 2% MP + 10% MJ: 0.48 kg/cm² (75% mayor que el tradicional)

Estas tendencias confirman que el mucílago actúa como un modificador reológico y cohesivo, fortaleciendo la unión entre partículas, mientras que el refuerzo fibroso contribuye a la formación de puentes internos que limitan la aparición y apertura de fisuras diagonales.

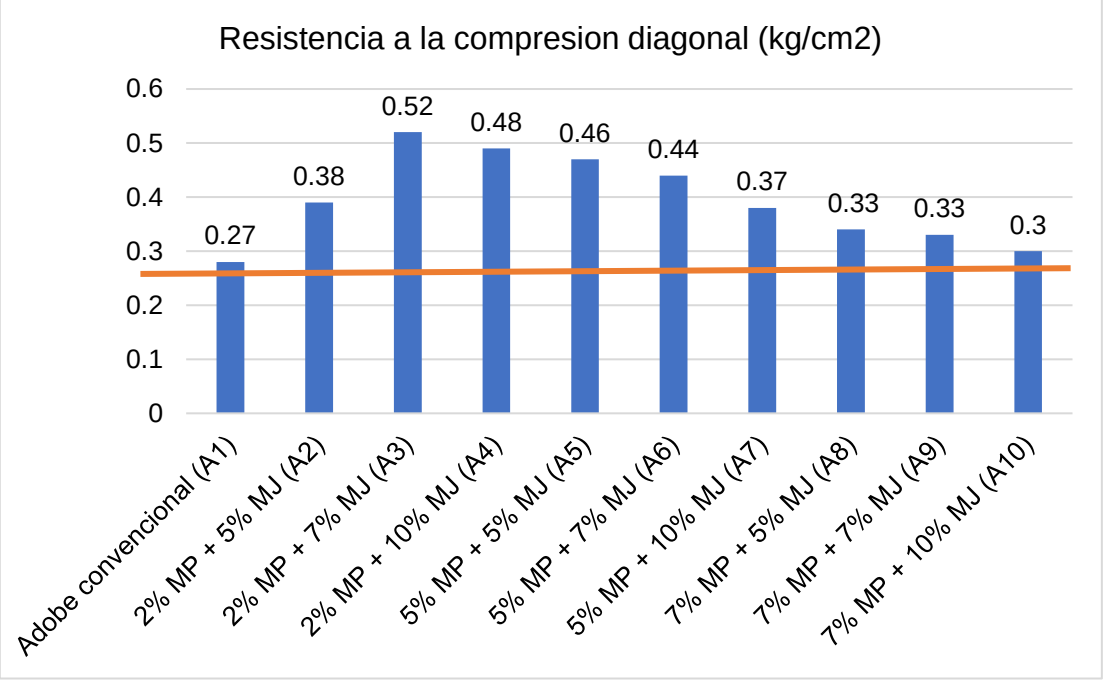
En cuanto a las mezclas con 5% de madera pulverizada de residuos de parquet, las resistencias promedio variaron entre 0.37 y 0.46 kg/cm², todas por encima del valor del adobe tradicional, aunque sin alcanzar el rendimiento óptimo observado en el 2% de MP. Esto coincide con la teoría de materiales compuestos, donde el exceso de refuerzo puede

generar discontinuidades o zonas de menor compactación, reduciendo la eficiencia en la transferencia de cargas.

Finalmente, las mezclas con 7% de madera pulverizada de residuos de parquet presentaron valores entre 0.30 y 0.33 kg/cm², que, si bien todavía superan ligeramente al adobe tradicional, muestran una disminución evidente respecto a las dosificaciones más bajas. Este comportamiento indica que, a mayores contenidos de fibra, el material se vuelve más heterogéneo y pierde cohesión interna, afectando su capacidad para resistir cargas diagonales.

Figura 21

Promedios de la resistencia a la compresión de muretes de adobe con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de jahuacollay.



Nota: Resultados comparativos de la resistencia al corte (v'm) en los muretes ensayados.

La Figura 21 muestra de manera gráfica los promedios de resistencia a la compresión de muretes, observándose que la mezcla de 2%MP+7%MJ alcanza el valor más alto de resistencia a compresión de muretes, así mismo todas las mezclas evaluadas superan el valor

mínimo exigido por la Norma E.080 (0.25 kg/cm²).

5.1.4. *Resultados del objetivo específico 4*

Tabla 15

Valores de succión (g/min/cm²) del adobe con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de jahuacollay.

Adición	M1	M2	M3	M4	M5	M6	Suma	Promedio
AC	16.36	16.67	16.36	16.36	16.36	16.67	97.78	16.46
2%MP+ 5%MJ	14.28	14.16	14.14	14.52	14.21	14.51	85.82	14.30
2%MP+ 7%MJ	13.60	13.66	13.67	13.60	13.65	13.18	81.36	13.56
2%MP+ 10%MJ	14.28	14.18	14.56	14.27	14.73	14.27	86.29	14.38
5%MP+ 5%MJ	14.51	14.62	15.03	13.98	14.94	14.44	87.52	14.59
5%MP+ 7%MJ	14.96	15.59	14.82	14.98	15.60	14.80	90.75	15.12
5%MP+ 10%MJ	15.40	15.50	15.26	15.30	15.36	15.24	92.06	15.34
7%MP+ 5%MJ	19.01	15.53	15.43	14.33	14.32	13.94	92.56	15.43
7%MP+ 7%MJ	15.57	15.64	15.61	15.55	15.73	15.49	93.59	15.60
7%MP+ 10%MJ	16.27	15.20	15.20	15.32	16.32	16.59	94.90	15.82

Nota: Promedios de la velocidad inicial de succión (IRA) comparados por tipo de dosificación.

La succión es un parámetro fundamental para evaluar la durabilidad del adobe, ya que está asociada a la velocidad con la que el agua asciende por capilaridad en la mezcla. Un adobe con succión elevada es más vulnerable a la humedad ascendente, al deterioro superficial y a procesos internos de debilitamiento. Por ello, una reducción en los valores de succión implica un material más resistente a la intemperie, más estable y con mayor vida útil.

En este estudio, el adobe tradicional presentó una succión promedio de 16.46

g/min/cm², lo que evidencia su elevada sensibilidad a la absorción capilar. Este valor funciona como línea base para comparar el desempeño de las mezclas con aditivos.

Los resultados demuestran que todas las mezclas con adición de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay lograron reducir la succión respecto al adobe tradicional, aunque en distinta magnitud. La mejora más notable se encontró nuevamente en la dosificación 2% MP + 7% MJ, que alcanzó un promedio de 13.56 g/min/cm², es decir, una reducción del 17.6% respecto al adobe tradicional. Este comportamiento confirma que la combinación equilibrada de bajo contenido de fibras y un nivel medio de mucílago genera un sistema más denso y cohesivo, capaz de limitar la velocidad de ascenso del agua en los poros capilares.

Las otras dosificaciones con 2% de madera pulverizada de residuos de parquet tuvieron también resultados favorables:

- 2% MP + 5% MJ: 14.30 g/min/cm²
- 2% MP + 10% MJ: 14.38 g/min/cm²

Aunque estas mezclas reducen la succión frente al adobe tradicional, no alcanzan la eficiencia obtenida con el 7% de mucílago, lo cual sugiere que existe un punto óptimo de saturación del biopolímero para lograr el sellado ideal de microcapilares.

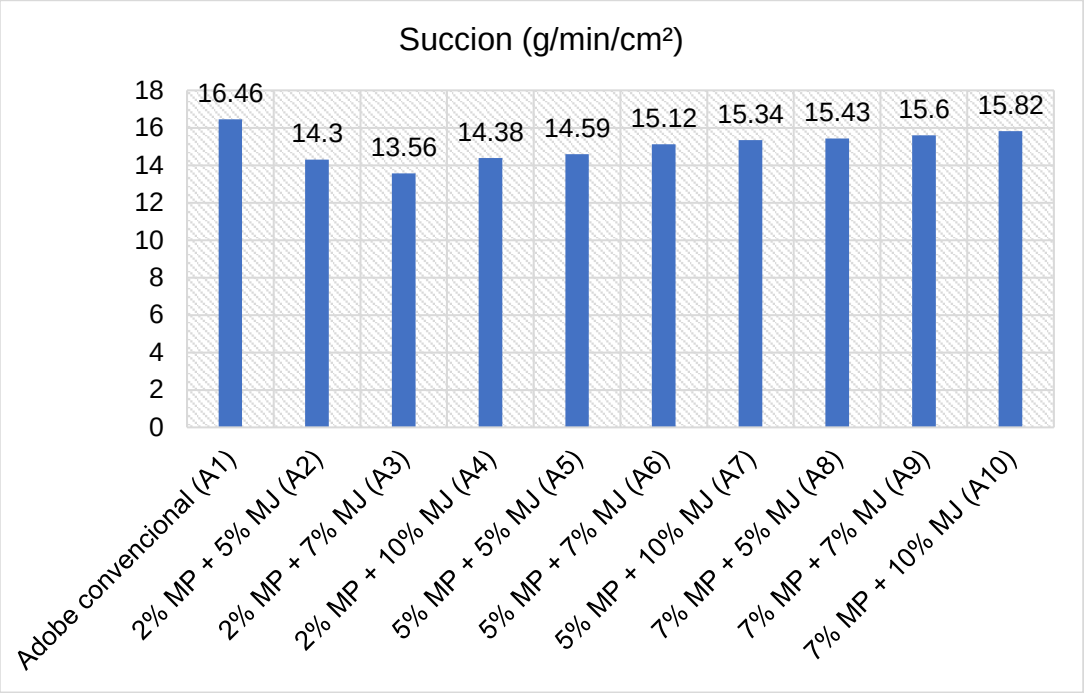
En las mezclas con 5% de madera pulverizada de residuos de parquet, los valores de succión se incrementaron ligeramente (entre 14.59 y 15.34 g/min/cm²), lo que implica que el aumento de fibras lignocelulósicas puede generar mayor porosidad interconectada, facilitando el ascenso capilar del agua. Sin embargo, los valores aún permanecen por debajo del adobe tradicional, lo que evidencia que la presencia del mucílago continúa ejerciendo un efecto positivo en la reducción de la permeabilidad.

Finalmente, las mezclas con 7% de madera pulverizada de residuos de parquet presentaron los valores de succión más altos del conjunto (promedios entre 15.43 y 15.82

g/min/cm²). Esto sugiere que el exceso de partículas fibrosas genera discontinuidades internas y microcanales que favorecen la infiltración capilar. Aun así, los valores permanecen ligeramente inferiores al adobe tradicional, lo que demuestra que el mucílago continúa ofreciendo una barrera parcial frente al paso del agua.

Figura 22

Promedios de la succión del adobe con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de jahuacollay.



Nota: Comportamiento de la succión capilar del adobe frente a los diferentes porcentajes de aditivos.

La Figura 22 representa gráficamente los promedios de succión obtenidos, mostrando una tendencia ascendente a medida que aumentan los porcentajes de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay en la mezcla. Esta representación visual evidencia que la incorporación moderada de ambos aditivos mejora ligeramente la compactación del adobe, mientras que una mayor cantidad genera una estructura más porosa, aumentando la permeabilidad y la capacidad de absorción del material.

5.1.5. *Resultados del objetivo específico 5*

Para identificar la dosificación óptima, fue imprescindible analizar de manera conjunta el comportamiento obtenido en todos los ensayos físico-mecánicos. Cada una de las pruebas aportó una mirada complementaria: mientras la compresión simple y la compresión axial permitieron evaluar la capacidad portante del adobe, la compresión diagonal mostró su desempeño frente a esfuerzos cortantes, y el ensayo de succión permitió dimensionar su comportamiento frente a la humedad. Solo al integrar todos estos resultados es posible establecer con rigor qué combinación de aditivos ofrece un desempeño superior y sostenible.

En primera instancia, los resultados de resistencia evidencian un patrón consistente: las mezclas con menores porcentajes de madera pulverizada de residuos de parquet, especialmente aquellas que incorporaron 2% de MP, mostraron mejoras significativas respecto al adobe tradicional. Dentro de este grupo, la formulación con 2% de madera pulverizada de residuos de parquet y 7% de mucílago de Jahuacollay destacó de forma clara. En el ensayo de compresión simple, alcanzó 13.36 kg/cm², convirtiéndose en la mezcla más resistente; y en la compresión axial en pilas se consolidó aún más con un promedio de 18.64 kg/cm², superando ampliamente los valores del adobe tradicional. Este aumento constante en ambas pruebas revela que la interacción entre un contenido moderado de mucílago y una cantidad pequeña de fibra lignocelulósica favorece la cohesión interna del material y fortalece la transmisión de esfuerzos en su interior.

Este hallazgo se reafirma al observar el comportamiento frente a cargas diagonales. La misma mezcla (2%MP+7%MJ) obtuvo el valor más alto del conjunto, con 0.52 kg/cm², prácticamente duplicando la resistencia del adobe tradicional. En términos estructurales, esto significa que la presencia equilibrada de ambos aditivos no solo refuerza la capacidad de soporte vertical, sino que también incrementa la capacidad del adobe para oponerse a los

esfuerzos cortantes característicos de movimientos sísmicos, donde históricamente este material ha mostrado mayor vulnerabilidad.

Por otro lado, el comportamiento frente a la humedad, evaluado mediante el ensayo de succión, también confirmó el desempeño superior de esta dosificación. La mezcla registró un valor promedio de 13.56 g/min/cm², siendo la más baja entre todas las evaluadas y representando una reducción importante respecto al adobe tradicional. Esta disminución en la velocidad de absorción capilar indica que la combinación de 2% de madera pulverizada de residuos de parquet con 7% de mucílago genera una matriz más densa, con menor porosidad interconectada y mayor estabilidad frente a la humedad ascendente. En contextos como San Jerónimo, donde la exposición a ciclos de mojado y secado es constante, esta mejora representa un incremento directo en la durabilidad del material.

Al analizar de manera conjunta estos resultados, se observa una tendencia clara: cuando los porcentajes de aditivos son moderados, la mezcla alcanza un equilibrio entre cohesión, resistencia y durabilidad. Con porcentajes más altos de madera pulverizada de residuos de parquet, la matriz tiende a volverse más heterogénea y se generan microvacíos que afectan la compactación; y cuando el mucílago se incrementa en exceso, la mezcla puede perder homogeneidad. En cambio, la combinación de 2% de madera pulverizada de residuos de parquet y 7% de mucílago parece generar una interacción sinérgica en la cual las fibras funcionan como pequeños puentes internos que resisten la formación de grietas, mientras que el mucílago actúa como un modificador reológico que mejora la cohesión, sella microcapilares y favorece un empaquetamiento más eficiente de las partículas.

Este comportamiento coincide con los principios de los materiales compuestos: el desempeño óptimo no se logra simplemente aumentando la cantidad de refuerzo, sino encontrando la proporción adecuada entre matriz y aditivo. En este caso, la dosificación mencionada no solo incrementó la resistencia mecánica de manera destacada, sino que

también mejoró el comportamiento del adobe frente a la humedad, uno de los factores que más condiciona su vida útil.

Finalmente, al contrastar todas las variables evaluadas, se concluye que la dosificación óptima corresponde de manera consistente a la mezcla 2% de madera pulverizada de residuos de parquet + 7% de mucílago de Jahuacollay. Esta formulación ofrece el mejor equilibrio entre resistencia, capacidad cortante y durabilidad frente a la humedad, convirtiéndose en una alternativa técnicamente sólida, sostenible y viable para mejorar la calidad de los adobes fabricados en la región.

5.2. Discusión de resultados

El análisis integral de los resultados permitió comprender con mejor claridad cómo la combinación de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay transforma el comportamiento del adobe tradicional. Aunque en un inicio podría pensarse que añadir más cantidad de aditivos generaría mejores prestaciones, los datos demostraron lo contrario: las mejoras realmente importantes se concentraron en dosificaciones moderadas, y especialmente en la mezcla 2%MP + 7%MJ, que mostró un desempeño constante y superior en casi todos los ensayos.

Esta tendencia coincide plenamente con lo que ya habían señalado otros investigadores. Cerna y Velásquez (2021), por ejemplo, evidenciaron que la incorporación de viruta de madera y PET solo mejora la resistencia cuando las proporciones no saturan la mezcla. Lo mismo ocurría en el estudio de Castro (2021), en el que las mejores resistencias se obtenían con dosificaciones intermedias de penca de tuna y cemento. Y en trabajos como los de Masgo et al. (2021), el uso de ceniza de cáscara de arroz también mostraba beneficios solo dentro de un rango óptimo. Los resultados de esta investigación, por lo tanto, no solo confirman esa tendencia, sino que incorporan un aporte nuevo: muestran que la combinación de residuo de parquet y mucílago de Jahuacollay, ambos disponibles en el entorno andino,

puede lograr efectos similares.

Respecto al primer objetivo, relacionado con la resistencia a la compresión simple, los resultados fueron claros: el adobe tradicional obtuvo una resistencia aceptable, pero fue superado ampliamente por las mezclas con 2% de madera pulverizada de residuos de parquet. La dosificación con 7% de mucílago destacó especialmente, mostrando que una pequeña cantidad de refuerzo fibroso, sumada a la acción cohesiva del mucílago, crea una estructura más compacta y resistente. Esto guarda relación con estudios como los de Cerna y Velásquez (2021) o Medina (2022), donde las fibras vegetales actuaron como un entramado interno capaz de redistribuir esfuerzos y limitar fisuras.

Para el segundo objetivo, centrado en la compresión axial de pilas, los resultados volvieron a mostrar un patrón similar. Todas las mezclas con aditivos superaron la línea base normativa y, en varios casos, al propio adobe tradicional. La mezcla 2%MP + 7%MJ, nuevamente, alcanzó la mejor resistencia promedio. Este comportamiento revela que los aditivos no solo fortalecen a la unidad aislada, sino que también aportan a una mejor unión entre piezas, lo que es fundamental cuando la albañilería trabaja como sistema. Este resultado dialoga con antecedentes como los de Masgo et al. (2021) o Arotaipe y Lecaros (2022), quienes reportaron mejoras en compresión axial utilizando fibras vegetales o cenizas.

En cuanto al tercer objetivo, relacionado con la compresión diagonal, los datos mostraron un avance importante. Todas las mezclas con MP y MJ mejoraron el desempeño cortante del adobe, lo que es clave para su comportamiento ante fuerzas sísmicas. La mezcla óptima superó en casi el doble al adobe tradicional y evidenció un comportamiento más estable ante la propagación de grietas diagonales. Este resultado se alinea con lo encontrado por Robles (2021), quien observó mejoras significativas al incorporar fibras de bagazo de caña, demostrando que los refuerzos naturales pueden generar cambios reales en la resistencia al corte.

En el caso del objetivo específico 4, enfocado en el comportamiento higroscópico, la succión del adobe tradicional volvió a evidenciar su mayor vulnerabilidad frente a la humedad. Las mezclas con aditivos lograron reducir este fenómeno, especialmente la dosificación óptima, lo que indica que el mucílago actuó como un sellante natural de microcapilares, reduciendo el ascenso capilar del agua. Este comportamiento coincide con lo documentado por Guerrero (2019), quien señalaba que los estabilizantes vegetales aportan barreras internas a la humedad, siempre dentro de rangos moderados de uso. Algo similar fue observado por Castro (2021), cuyos resultados mostraron que los mucílagos forman una película protectora que disminuye la permeabilidad. El hecho de que las dosificaciones más altas aumentaran ligeramente la succión refuerza la idea central de que el beneficio aparece solo cuando la mezcla mantiene un equilibrio entre fibras y mucílago.

Finalmente, para el objetivo específico 5, que buscaba determinar la dosificación óptima, la evidencia fue contundente. Al integrar los resultados mecánicos y físicos, la mezcla 2%MP + 7%MJ no solo alcanzó las mejores resistencias, sino también la menor succión y una variabilidad reducida. Esto significa que no solo es más resistente, sino también más estable e incluso más durable frente a la humedad, lo que es esencial para la vida útil del adobe. A diferencia de los antecedentes que presentaban mejoras solo en ciertos ensayos, este estudio muestra un desempeño equilibrado en todas las áreas evaluadas, lo que confirma que la combinación analizada tiene verdadero potencial constructivo para entornos como el de San Jerónimo, Cusco.

5.2.1. *Limitaciones del estudio*

Si bien los resultados obtenidos permiten identificar mejoras claras en el comportamiento mecánico e higroscópico del adobe reforzado con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay, es necesario reconocer ciertas limitaciones inherentes al alcance metodológico y contextual de la presente investigación.

En primer lugar, la representatividad del suelo constituye una limitación relevante. El estudio se desarrolló utilizando un solo tipo de suelo arcilloso proveniente del distrito de San Jerónimo, Cusco, el cual presenta características geotécnicas y mineralógicas específicas. Si bien esta elección permitió un control adecuado de las variables experimentales, los resultados no pueden extrapolarse de manera directa a otros suelos con distinta granulometría, plasticidad o contenido mineral, sin realizar estudios complementarios.

Otra limitación está asociada a la variabilidad natural del mucílago de Jahuacollay. Al tratarse de un material de origen vegetal, su composición química y capacidad gelificante pueden verse influenciadas por factores estacionales, climáticos y por el estado de maduración de la planta. En el presente estudio se trabajó con mucílago obtenido bajo condiciones específicas y controladas, por lo que no se evaluó la posible variación de sus propiedades a lo largo del año.

Asimismo, el periodo de evaluación de las unidades de adobe se limitó a edades de hasta 28 días, lo cual resulta suficiente para analizar el comportamiento mecánico inicial, pero insuficiente para establecer conclusiones definitivas sobre la durabilidad a largo plazo. No se evaluaron fenómenos asociados al envejecimiento del material, tales como ciclos de humedecimiento–secado, ataques químicos, ni condiciones extremas como ciclos de hielo–deshielo, los cuales podrían afectar el desempeño del adobe en contextos más exigentes.

Desde el punto de vista de la aplicabilidad práctica, otra limitación corresponde a la escalabilidad del proceso. La fabricación de las unidades se realizó en condiciones de laboratorio y a escala experimental, lo que no permite evaluar de forma directa los retos técnicos, logísticos y productivos que podrían presentarse en una aplicación a nivel comunitario o semiindustrial.

Finalmente, el estudio no incorporó un análisis económico detallado ni una

cuantificación ambiental del impacto del uso de los aditivos propuestos. Si bien se reconoce que el empleo de residuos de parquet y mucílago vegetal presenta ventajas potenciales en términos de sostenibilidad y aprovechamiento de recursos locales, no se evaluaron costos reales de implementación, reducción de huella de carbono ni beneficios ambientales medibles, aspectos que constituyen una línea clara para futuras investigaciones.

El reconocimiento de estas limitaciones no invalida los resultados obtenidos, sino que permite contextualizarlos adecuadamente y delimitar con claridad el alcance de las conclusiones, aportando una base sólida para estudios posteriores orientados a la durabilidad, la sostenibilidad y la aplicación a mayor escala del adobe reforzado.

5.3. Prueba de hipótesis

5.3.1. *Contrastación de la hipótesis específica 1*

La hipótesis específica 1 propone que la resistencia a la compresión del adobe que contiene madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay mejora las propiedades físico-mecánicas de la albañilería de adobe en comparación con el adobe tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

Tabla 16

Pruebas de normalidad – Resistencia a la compresión simple.

Grupo		Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	**gl**	**Sig.**	**Estadístico**	**gl**	**Sig.**
Resistencia a la compresión Simple	AC	,260	6	,200*	,827	6	,101
	2%MP+5%MJ	,254	6	,200*	,932	6	,599
	2%MP+7%MJ	,182	6	,200*	,972	6	,907
	2%MP+10%MJ	,233	6	,200*	,946	6	,707
	5%MP+5%MJ	,369	6	,011	,749	6	,020
	5%MP+7%MJ	,169	6	,200*	,963	6	,844
	5%MP+10%MJ	,310	6	,074	,798	6	,056
	7%MP+5%MJ	,300	6	,098	,786	6	,044
	7%MP+7%MJ	,167	6	,200*	,917	6	,486
	7%MP+10%MJ	,286	6	,137	,874	6	,245

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

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Verificación de la distribución normal de los datos mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk en SPSS.

De acuerdo a los resultados de las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov), varios grupos presentan valores de significancia (Sig.) inferiores a 0.05, indicando no normalidad en esos casos. Aunque grupos como AC, 2%MP+5%MJ y 2%MP+7%MJ tienen Sig. >0.05, la no normalidad general justifica el uso de la aplicación de Kruskal-Wallis. Se concluye que los datos no siguen una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

Dado que los datos no cumplen con el supuesto de normalidad en general, se procede a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar las medias entre los grupos.

Ho: No existen diferencias significativas en las medias de resistencia a la compresión entre el adobe tradicional (AC) y los grupos con aditivos (madera pulverizada de residuos de parquet + mucílago de Jahuacollay).

Ha: Existen diferencias significativas en las medias de resistencia a la compresión entre al menos dos grupos (específicamente, las mezclas tienen resistencia superior al AC).

Tabla 17

Kruskal Wallis – Resistencia a la compresión simple

Estadísticos de prueba Kruskal - Wallis Resistencia a la compresión Simple	
H de Kruskal - Wallis	54,675[a]
Grado de libertad	9
Sig. asintótica	,000

a. Las estadísticas de prueba se ajustan para empates.

Nota: Resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para determinar diferencias significativas entre grupo.

De acuerdo a los resultados de la prueba Kruskal-Wallis, el valor de significancia (Sig. asintótica) es 0.000, que es menor a 0.05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, concluyendo que existen diferencias significativas en las medias de resistencia a la compresión entre los grupos con un nivel de significancia del 5%. Esto indica que las adiciones de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay impactan positivamente la resistencia, permitiendo proceder a la prueba post-hoc de Duncan para identificar grupos superiores al AC.

Tabla 18

Duncan – Resistencia a la compresión simple

Grupo	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
7%MP+10%MJ	6	10,2517				
AC	6	10,4117				
7%MP+5%MJ	6		10,8933			
7%MP+7%MJ	6		11,0000			
5%MP+10%MJ	6		11,1233			
5%MP+7%MJ	6			11,8267		
5%MP+5%MJ	6				12,4217	
2%MP+10%MJ	6				12,5883	
2%MP+5%MJ	6				12,6283	
2%MP+7%MJ	6					13,4583
Sig.		,354	,211	1,000	,261	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

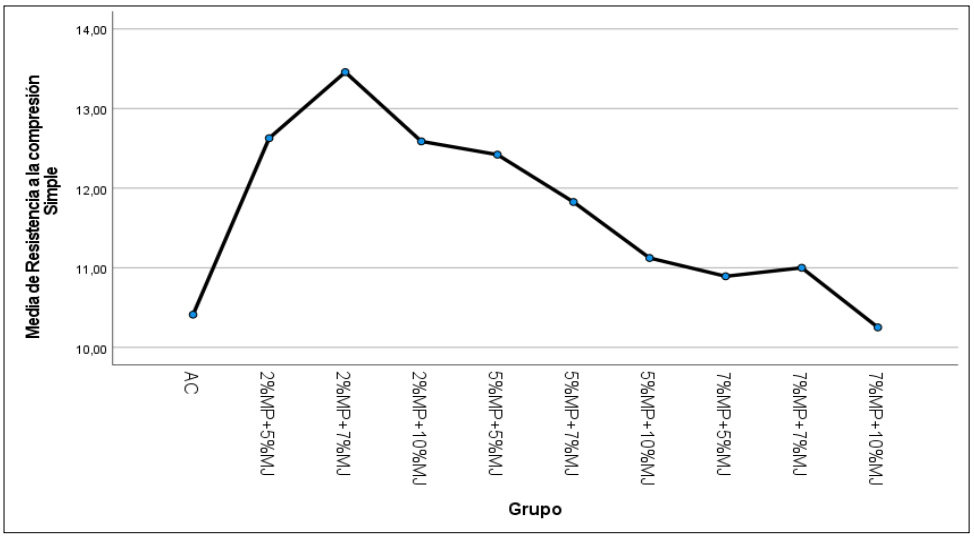
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.

Nota: Formación de subconjuntos homogéneos de resistencia según la prueba de comparación múltiple de Duncan.

De la tabla de Duncan, se observa que el adobe tradicional (AC) tiene una media baja (10.4117), ubicada en el subconjunto 1 junto a 7%MP+10%MJ, pero las mezclas con 2%MP (especialmente 2%MP+7%MJ: 13.4583 en subconjunto 5) muestran medias superiores y se agrupan en subconjuntos más altos. Otras combinaciones como 5%MP+5%MJ (12.4217 en subconjunto 4) también superan al AC. Los Sig. >0.05 en subconjuntos indican homogeneidad interna, pero las diferencias entre subconjuntos confirman que varias mezclas (principalmente con bajo %MP y alto %MJ) son significativamente superiores al AC. Esto respalda la hipótesis específica 2, ya que las adiciones incrementan notablemente la resistencia a la compresión.

Figura 23

Gráfica de medias - Resistencia a la compresión simple.



Nota: Gráfico de medias con intervalos de confianza para la resistencia a la compresión simple (Generado en SPSS).

De la gráfica de medias, se visualiza que las medias de resistencia a la compresión de las mezclas con aditivos (especialmente 2%MP+7%MJ como la más alta) superan claramente la del adobe tradicional (AC), que se encuentra entre las más bajas. Las combinaciones con 2%MP muestran el mayor incremento, mientras que altas dosis de MP (7%) se acercan más al AC pero aún lo superan en algunos casos. Esto confirma visualmente las diferencias significativas de Duncan, indicando que la incorporación de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay mejora la resistencia a la compresión, con la mezcla óptima en bajos %MP y altos %MJ, con un nivel de significancia del 5% en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

5.3.2. *Contrastación de la hipótesis específica 2*

La hipótesis específica 2 indica que la resistencia a la compresión axial de la albañilería de adobe elaborada con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay es mayor que la del adobe tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco,

2024.

Tabla 19

Pruebas de normalidad – Resistencia a la compresión en pilas.

Grupo		Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	**gl**	**Sig.**	**Estadístico**	**gl**	**Sig.**
Resistencia a la compresión en Pilas	AC	,171	6	,200*	,949	6	,731
	2%MP+5%MJ	,194	6	,200*	,938	6	,642
	2%MP+7%MJ	,183	6	,200*	,955	6	,777
	2%MP+10%MJ	,223	6	,200*	,949	6	,729
	5%MP+5%MJ	,259	6	,200*	,866	6	,211
	5%MP+7%MJ	,287	6	,134	,789	6	,047
	5%MP+10%MJ	,170	6	,200*	,967	6	,870
	7%MP+5%MJ	,176	6	,200*	,978	6	,943
	7%MP+7%MJ	,239	6	,200*	,851	6	,162
	7%MP+10%MJ	,234	6	,200*	,920	6	,502

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

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Análisis de normalidad para los datos de resistencia a la compresión axial en pilas.

De acuerdo a los resultados de las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov), todos los grupos presentan valores de significancia (Sig.) mayores a 0.05, lo que indica que los datos siguen una distribución normal en la mayoría de los casos. Se concluye que los datos de resistencia a la compresión en pilas siguen una distribución normal con un nivel de significancia del 5%. Esto permite proceder a pruebas paramétricas como ANOVA.

Tabla 20

Pruebas de homogeneidad de varianzas – Resistencia a la compresión en pilas.

		Estadístico de Levene	**gl1**	**gl2**	**Sig.**
Resistencia a la compresión en Pilas	Se basa en la media	2,797	9	50	,010
	e basa en la mediana	2,389	9	50	,025
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2,389	9	18,711	,053
	Se basa en la media recortada	2,759	9	50	,011

Nota: Prueba de Levene para verificar la igualdad de varianzas en los datos de pilas.

De acuerdo a los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, los valores de significancia (Sig.) basados en la media (0.010), mediana (0.025) y media recortada (0.011) son inferiores a 0.05, lo que sugiere desigualdad de varianzas en algunos enfoques. Sin embargo, el valor basado en la mediana con gl ajustado (0.053) es mayor a 0.05, lo que permite aceptar marginalmente la hipótesis nula en esta corrección.

Después de probada la normalidad y homogeneidad aproximada de los datos, se procede a la prueba ANOVA de un factor para la resistencia a la compresión en pilas.

Ho: No existen diferencias significativas en las medias de resistencia a la compresión en pilas entre el adobe tradicional (AC) y los grupos con aditivos (madera pulverizada de residuos de parquet + mucílago de Jahuacollay).

Ha: Existen diferencias significativas en las medias de resistencia a la compresión en pilas entre al menos dos grupos (específicamente, las mezclas tienen resistencia superior al AC).

Tabla 21

ANOVA – Resistencia a la compresión en pilas.

	Suma de cuadrados	**gl**	**Media cuadrática**	**F**	**Sig.**
Entre grupos	138,340	9	15,371	189,213	,000
Dentro de grupos	4,062	50	,081		
Total	142,402	59			

Nota: Análisis de varianza de un factor para comparar las medias de resistencia axial entre los tratamientos.

Las consecuencias de la prueba ANOVA demuestran que, con un nivel de significancia del 5%, existen pruebas suficientes para rechazar la hipótesis nula, ya que el valor Sig. de la prueba entre grupos es 0.000, menor al valor esperado de 0.05. Esto indica que hay diferencias significativas entre el adobe tradicional (AC) y al menos uno de los grupos con aditivos. Dado que se asume igualdad aproximada de varianzas, la prueba post-hoc de Tukey se aplicará para determinar cuáles grupos (mezclas) superan significativamente al AC.

Tabla 22

HSD Tukey – Resistencia a la compresión en pilas.

Grupo	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
A	6	13,8400				
7%MP+10%MJ	6	13,9283				
7%MP+7%MJ	6		14,8900			
7%MP+5%MJ	6		15,0050			
2%MP+5%MJ	6			15,6633		
5%MP+10%MJ	6			15,7783		
5%MP+7%MJ	6			16,0650		
5%MP+5%MJ	6				16,6300	
2%MP+10%MJ	6				17,1167	
2%MP+7%MJ	6					19,2267
Sig.		1,000	,999	,325	,117	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

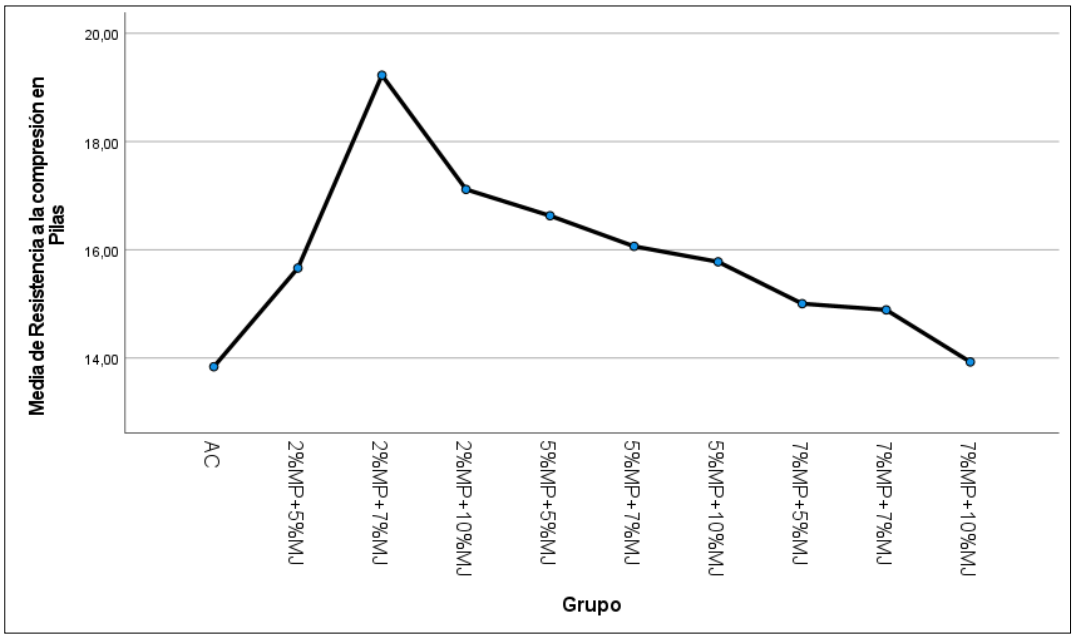
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.

Nota: Comparaciones múltiples de Tukey para identificar diferencias específicas entre las dosificaciones de pilas.

De la tabla de Tukey (HSD), se observa que el adobe tradicional (AC) tiene la media más baja (13.8400), ubicada en el subconjunto 1 junto a 7%MP+10%MJ, pero la mayoría de las mezclas con aditivos muestran medias superiores y se agrupan en subconjuntos más altos (por ejemplo, 2%MP+7%MJ: 19.2267 en subconjunto 5; 2%MP+10%MJ: 17.1167 en subconjunto 4). Los Sig. ≈1.000 en subconjuntos indican homogeneidad interna, pero las diferencias entre subconjuntos confirman que varias mezclas (especialmente con 2%MP y altos %MJ) son significativamente superiores al AC. Esto respalda la hipótesis específica 3, ya que las adiciones incrementan sustancialmente la resistencia a la compresión axial.

Figura 24

Gráfica de medias - Resistencia a la compresión en pilas.



Nota: Análisis gráfico de las medias de resistencia a la compresión en pilas.

De la gráfica de medias, se visualiza que la media de resistencia a la compresión en pilas del adobe tradicional (AC) es la más baja, inferior a todas las mezclas con aditivos. Las combinaciones con 2%MP (especialmente 2%MP+7%MJ como la más alta) presentan el mayor incremento, mientras que altas dosis de MP (7%) se aproximan al AT pero lo superan ligeramente. Esto confirma visualmente las diferencias significativas identificadas en Tukey, indicando que la incorporación de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay mejora la resistencia axial, con óptimas en bajos %MP y altos %MJ, con un nivel de significancia del 5% en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

5.3.3. *Contrastación de la hipótesis específica 3*

La hipótesis específica 3 afirma que la resistencia a la compresión diagonal de la albañilería de adobe elaborada con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay es mayor que la de la albañilería tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

Tabla 23

Pruebas de normalidad – Resistencia a la compresión en muretes.

Grupo		Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	**gl**	**Sig.**	**Estadístico**	**gl**	**Sig.**
Resistencia a la compresión en Muretes	AC	,401	6	,003	,770	6	,031
	2%MP+5%MJ	,263	6	,200*	,823	6	,093
	2%MP+7%MJ	,267	6	,200*	,809	6	,070
	2%MP+10%MJ	,285	6	,138	,831	6	,110
	5%MP+5%MJ	,293	6	,117	,822	6	,091
	5%MP+7%MJ	,333	6	,036	,721	6	,010
	5%MP+10%MJ	,376	6	,008	,666	6	,003
	7%MP+5%MJ	,241	6	,200*	,913	6	,456
	7%MP+7%MJ	,278	6	,161	,837	6	,122
	7%MP+10%MJ	,333	6	,036	,827	6	,101

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

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Verificación de la distribución de datos para la resistencia a la compresión diagonal.

De acuerdo a los resultados de las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk), varios grupos presentan valores de significancia (Sig.) inferiores a 0.05, indicando no normalidad en esos casos. Aunque algunos grupos como 7%MP+5%MJ y 2%MP+10%MJ tienen Sig. >0.05, se concluye que los datos no siguen una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

Dado que los datos no cumplen con el supuesto de normalidad en general, se procede a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar las medias entre los grupos.

Ho: No existen diferencias significativas en las medias de resistencia a la compresión en muretes entre el adobe tradicional (AT) y los grupos con aditivos (madera pulverizada de residuos de parquet + mucílago de Jahuacollay).

Ha: Existen diferencias significativas en las medias de resistencia a la compresión en muretes entre al menos dos grupos (específicamente, las mezclas tienen resistencia superior

al AT).

Tabla 24

Kruskal Wallis – Resistencia a la compresión en muretes.

Estadísticos de prueba Kruskal - Wallis Resistencia a la compresión en Muretes	
H de Kruskal - Wallis	57,524[a]
Grado de libertad	9
Sig. asintótica	,000

a. Las estadísticas de prueba se ajustan para empates.

Nota: Prueba de rangos para comparar la resistencia al corte entre los grupos experimentales.

De acuerdo a los resultados de la prueba Kruskal-Wallis, el valor de significancia (Sig. asintótica) es 0.000, que es menor a 0.05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, concluyendo que existen diferencias significativas en las medias de resistencia a la compresión en muretes entre los grupos con un nivel de significancia del 5%. Esto indica que las adiciones de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay impactan la resistencia diagonal, permitiendo proceder a la prueba post-hoc de Duncan para identificar grupos superiores al AC.

Tabla 25

Duncan – Resistencia a la compresión en muretes.

Grupo	N	Subconjunto para alfa = 0.05							
		1	2	3	4	5	6	7	8
AC	6	,2783							
7%MP+10%MJ	6		,3000						
7%MP+7%MJ	6			,3300					
7%MP+5%MJ	6			,3400					
5%MP+10%MJ	6				,3767				
2%MP+5%MJ	6				,3867				
5%MP+7%MJ	6					,4400			
5%MP+5%MJ	6						,4667		
2%MP+10%MJ	6							,4900	
2%MP+7%MJ	6								,5183
Sig.		1,000	1,000	,239	,239	1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

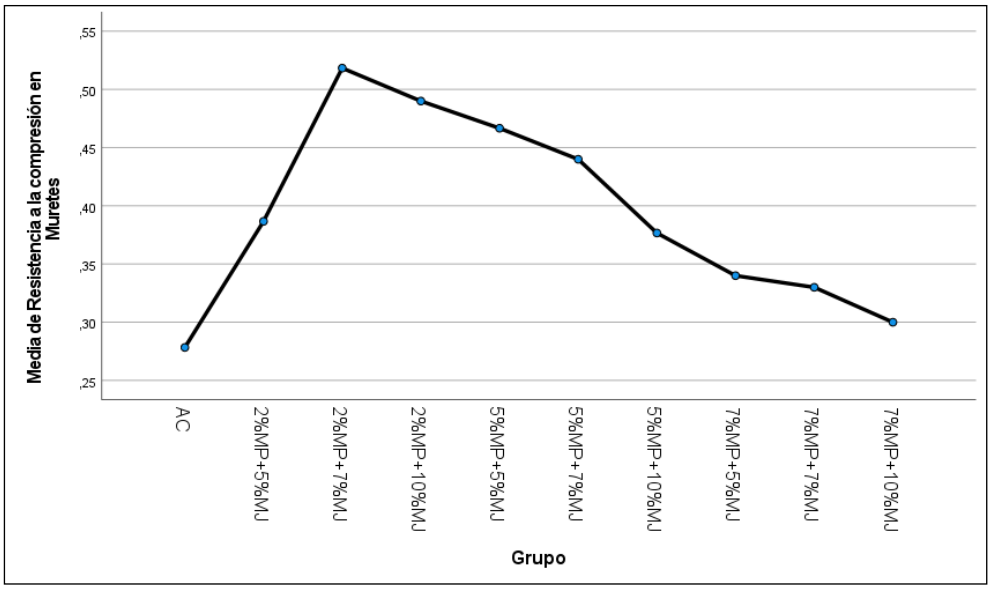
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.

Nota: Agrupación estadística de las medias de resistencia en muretes (prueba de Duncan).

De la tabla de Duncan, se observa que el adobe tradicional (AC) tiene la media más baja (0.2783), ubicada en el subconjunto 1, lo que lo diferencia significativamente de los demás grupos. Las mezclas con aditivos muestran medias superiores y se agrupan en subconjuntos más altos (por ejemplo, 2%MP+7%MJ: 0.5183 en subconjunto 8; 2%MP+10%MJ: 0.4900 en subconjunto 7), confirmando diferencias significativas. Las combinaciones con 2%MP y altos %MJ presentan el mayor incremento. Los Sig. ≈1.000 indican homogeneidad interna en subconjuntos, pero las diferencias entre ellos respaldan que las adiciones mejoran considerablemente la resistencia diagonal, apoyando la hipótesis específica 4.

Figura 25

Gráfica de medias – Resistencia a la compresión en muretes



Nota: Representación estadística de la variación de resistencia en los muretes de albañilería.

De la gráfica de medias, se visualiza que la media de resistencia a la compresión diagonal en muretes del adobe tradicional (AC) es la más baja, claramente inferior a todas las mezclas con aditivos. Las combinaciones con 2%MP (especialmente 2%MP+7%MJ como la más alta) muestran el mayor incremento, mientras que altas dosis de MP (7%) se aproximan al AT pero lo superan. Esto confirma visualmente las diferencias significativas de Duncan, indicando que la incorporación de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay mejora la resistencia diagonal, con óptimas en bajos %MP y altos %MJ, con un nivel de significancia del 5% en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

5.3.4. *Contrastación de la hipótesis específica 4*

La hipótesis específica 4 establece que la propiedad de succión del adobe que contiene madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay es menor en comparación con la del adobe tradicional en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

Tabla 26

Pruebas de normalidad – Succión.

Grupo		Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	**gl**	**Sig.**	**Estadístico**	**gl**	**Sig.**
Succión	AC	,407	6	,002	,640	6	,001
	2%MP+5%MJ	,221	6	,200*	,832	6	,112
	2%MP+7%MJ	,417	6	,002	,636	6	,001
	2%MP+10%MJ	,349	6	,021	,830	6	,106
	5%MP+5%MJ	,183	6	,200*	,948	6	,728
	5%MP+7%MJ	,319	6	,057	,779	6	,037
	5%MP+10%MJ	,172	6	,200*	,943	6	,687
	7%MP+5%MJ	,311	6	,071	,781	6	,040
	7%MP+7%MJ	,140	6	,200*	,984	6	,968
	7%MP+10%MJ	,280	6	,153	,809	6	,070

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

Nota: Prueba de normalidad aplicada a los resultados del ensayo de succión capilar.

De acuerdo a los resultados de las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov), los valores de significancia (Sig.) para la mayoría de los grupos son inferiores a 0.05, lo que indica que los datos no siguen una distribución normal en varios grupos. Aunque algunos grupos como 2%MP+5%MJ, 5%MP+5%MJ y 7%MP+7%MJ presentan Sig. >0.05, la no normalidad general en la muestra justifica el uso de pruebas no paramétricas como Kruskal-Wallis para comparar grupos. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula en la mayoría de los casos y se concluye que los datos de succión no siguen una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

Dado que los datos no cumplen con el supuesto de normalidad en general, se procede

a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar las medias entre los grupos.

Ho: No existen diferencias significativas en las medias de succión entre el adobe tradicional (AC) y los grupos con aditivos (madera pulverizada de residuos de parquet + mucílago de Jahuacollay).

Ha: Existen diferencias significativas en las medias de succión entre al menos dos grupos (específicamente, las mezclas tienen succión inferior al AC).

Tabla 27

Kruskal Wallis – Succión

Estadísticos de prueba Kruskal - Wallis Succión	
H de Kruskal - Wallis	46,375[a]
Grado de libertad	9
Sig. asintótica	,000

a. Las estadísticas de prueba se ajustan para empates.

Nota: Análisis estadístico para determinar la influencia significativa de los aditivos en la succión.

De acuerdo a los resultados de la prueba Kruskal-Wallis, el valor de significancia (Sig. asintótica) es 0.000, que es menor a 0.05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, concluyendo que existen diferencias significativas en las medias de succión entre los grupos con un nivel de significancia del 5%. Esto sugiere que las adiciones de madera pulverizada de residuos de parquet (MP) y mucílago de Jahuacollay (MJ) impactan la propiedad de succión, permitiendo proceder a la prueba post-hoc de Duncan para identificar qué grupos difieren específicamente (por ejemplo, si las mezclas son inferiores al AC).

Tabla 28

Duncan – Succión.

Grupo	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
2%MP+7%MJ	6	13,5600				
2%MP+5%MJ	6	14,3033	14,3033			
2%MP+10%MJ	6		14,3817			
5%MP+5%MJ	6		14,5867	14,5867		
5%MP+7%MJ	6		15,1250	15,1250	15,1250	
5%MP+10%MJ	6			15,3433	15,3433	
7%MP+5%MJ	6			15,4267	15,4267	
7%MP+7%MJ	6			15,583	15,5983	
7%MP+10%MJ	6				15,8167	15,8167
AC	6					16,4633
Sig.		,056	,052	,065	,111	,095

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

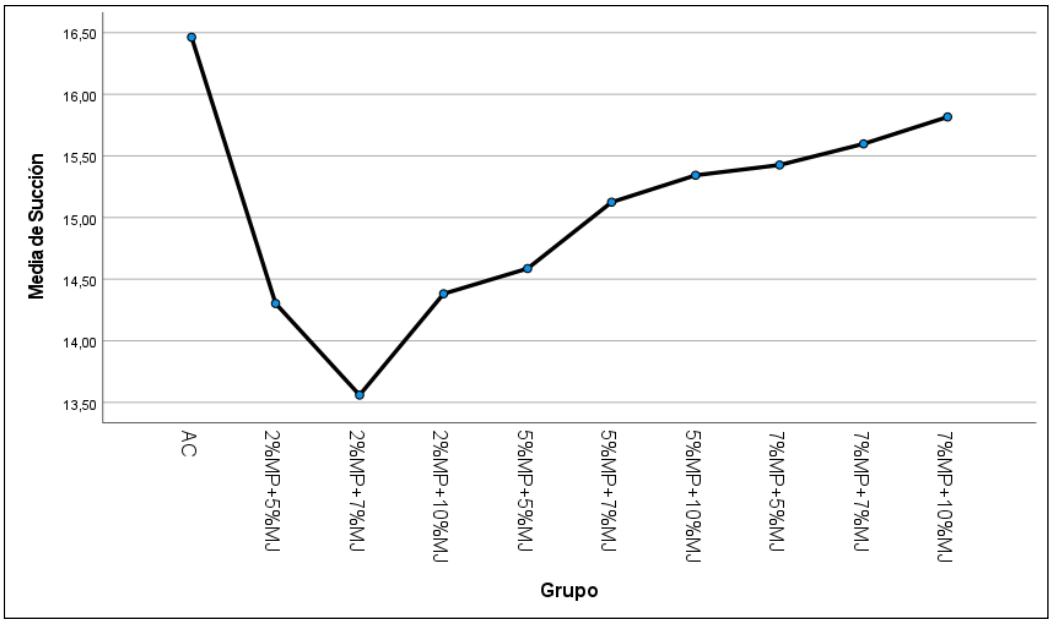
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.

Nota: Subconjuntos homogéneos resultantes de la comparación de medias de succión.

De la tabla de Duncan, se observa que el adobe tradicional (AC) tiene la media más alta de succión (16.4633), ubicada en el subconjunto 5, lo que lo diferencia significativamente de los demás grupos (Sig. >0.05 en subconjuntos inferiores indica homogeneidad interna, pero AT está aislado en el subgrupo superior). Las mezclas con aditivos (2%MP+7%MJ con 13.5600 en subconjunto 1) muestran medias inferiores y se agrupan en subconjuntos más bajos, confirmando diferencias significativas. Las combinaciones con mayores porcentajes de MP y MJ (como 7%MP+10%MJ: 15.8167) se acercan más al AT pero aún son inferiores. Esto respalda la hipótesis específica 1, ya que las adiciones reducen notablemente la succión en comparación al AC.

Figura 26

Gráfica de medias - Succión



Nota: Tendencia de la succión capilar media según los grupos analizados estadísticamente.

De la gráfica de medias, se visualiza que la media de succión del adobe tradicional (AC) es la más elevada, superior a todas las mezclas con aditivos. Las combinaciones con bajos porcentajes de MP (como 2%MP+7%MJ) presentan las medias más bajas, mientras que las de mayor MP (7%) se aproximan más al AT pero permanecen inferiores. Esto confirma visualmente las diferencias significativas identificadas en Duncan, indicando que la incorporación de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay reduce la succión, mejorando potencialmente la durabilidad del adobe al limitar la absorción de humedad, con un nivel de significancia del 5% en el distrito de San Jerónimo, Cusco, 2024.

5.3.5. *Contrastación de la hipótesis general*

La hipótesis general establece que la adición de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay influye de manera positiva en las propiedades físico-mecánicas de la albañilería de adobe en comparación con el adobe tradicional.

Tabla 29

Prueba de la hipótesis general.

Hipótesis	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	Las medianas de succión son las mismas entre categorías de Grupo (AT vs. mezclas).	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula (diferencias significativas; mezclas inferiores al AC).
2	Las medianas de resistencia a la compresión simple son las mismas entre categorías de Grupo (AT vs. mezclas).	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula (diferencias significativas; varias mezclas superiores al AC).
3	Las medias de resistencia a la compresión axial en pilas son las mismas entre categorías de Grupo (AT vs. mezclas).	Prueba de ANOVA de un factor	,000	Rechazar la hipótesis nula (diferencias significativas; la mayoría de mezclas superiores al AC).
4	Las medianas de resistencia a la compresión diagonal en muretes son las mismas entre categorías de	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula (diferencias significativas; todas las mezclas superiores al

	Grupo (AT vs. mezclas).	AC).

Nota: Resumen de la contrastación estadística y decisión para la hipótesis general y específicas.

Este resumen confirma la aceptación de la hipótesis alterna general, ya que todas las específicas muestran diferencias significativas a favor de las adiciones de madera pulverizada de residuos de parquet (MP) y mucílago de Jahuacollay (MJ), mejorando las propiedades del adobe en San Jerónimo, Cusco, 2024.

VI. Conclusiones

Para el objetivo general

La investigación permitió comprobar que la incorporación conjunta de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay mejoró de manera significativa las propiedades físicas y mecánicas del adobe respecto al material tradicional empleado en San Jerónimo. Todas las mezclas con aditivos cumplieron y superaron los valores mínimos exigidos por la Norma E.080 tanto en resistencia como en succión, y las pruebas estadísticas (Kruskal-Wallis y ANOVA) evidenciaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el adobe tradicional y las dosificaciones modificadas, respaldando la hipótesis general planteada.

Para el objetivo específico 1

Se confirmó que la resistencia a la compresión simple del adobe se incrementó de manera importante con la adición de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de jahuacollay. El adobe tradicional alcanzó un promedio de 10.19 kg/cm², mientras que la mezcla 2%MP+7%MJ obtuvo 13.36 kg/cm², lo que representó un aumento cercano al 31 % respecto al AT y un margen holgado sobre el mínimo de la Norma E.080 (10.20 kg/cm². Las pruebas de Kruskal–Wallis y Duncan demostraron diferencias estadísticamente significativas entre grupos, por lo que se aceptó la hipótesis específica relacionada con la mejora de la resistencia a la compresión simple.

Para el objetivo específico 2

En la resistencia a la compresión axial en pilas de adobe, todas las mezclas con aditivos superaron al adobe tradicional y triplicaron la línea base normativa (6.12 kg/cm²). El adobe tradicional registró 13.72 kg/cm², mientras que la mezcla 2%MP+7%MJ alcanzó 18.64 kg/cm², con un incremento aproximado del 36 %. El análisis ANOVA ($p = 0.000$) y la prueba post-hoc de Tukey confirmaron la existencia de diferencias significativas entre el

AT y varias mezclas, especialmente aquellas con 2% de madera pulverizada de residuos de parquet y contenidos medios-altos de mucílago de jahuacollay, aceptándose la hipótesis específica referida a la mejora de la resistencia axial de la albañilería.

Para el objetivo específico 3

En cuanto a la resistencia a la compresión diagonal de muretes, se demostró que todas las dosificaciones con madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de jahuacollay superaron al adobe tradicional (0.27 kg/cm²). La mezcla 2%MP+7%MJ alcanzó un valor promedio de 0.52 kg/cm², equivalente a un incremento cercano al 92 %, lo que se tradujo en una mejora sustancial de la respuesta cortante de la albañilería, particularmente relevante frente a solicitaciones sísmicas. La prueba de Kruskal–Wallis y el análisis de Duncan evidenciaron diferencias significativas entre el AT y las mezclas modificadas, motivo por el cual se aceptó la hipótesis específica correspondiente a la resistencia diagonal.

Para el objetivo específico 4

Respecto a la succión, el adobe tradicional presentó el valor más alto (16.46 g/min/cm²), evidenciando mayor vulnerabilidad frente a la humedad ascendente. Todas las mezclas con aditivos redujeron esta propiedad, siendo nuevamente la dosificación 2%MP+7%MJ la más favorable, con 13.56 g/min/cm², lo que implicó una disminución aproximada del 17.6 % respecto al AC. Las pruebas de normalidad justificaron el uso de Kruskal–Wallis, cuyos resultados ($p = 0.000$) y la prueba de Duncan confirmaron diferencias significativas entre el AT y las mezclas, permitiendo aceptar la hipótesis específica relativa a la disminución de la succión. Esta reducción sugiere una mayor resistencia al deterioro por humedad y, por tanto, una potencial mejora en la durabilidad del material.

Para el objetivo específico 5

Al integrar los resultados de compresión simple, compresión axial, compresión diagonal y succión, se determinó que la dosificación óptima correspondió de manera

consistente a la mezcla 2% de madera pulverizada de residuos de parquet + 7% de mucílago de Jahuacollay. Esta combinación ofreció el mejor equilibrio entre resistencia mecánica, capacidad cortante y menor succión, con baja dispersión de resultados. Se evidenció, además, que incrementos mayores de madera pulverizada de residuos de parquet (5 % y 7 %) y de mucílago tienden a generar matrices más heterogéneas y porosas, que mantienen resistencias aceptables, pero ya no alcanzan el desempeño máximo observado en las dosificaciones moderadas.

En síntesis, la presente investigación permitió demostrar que la incorporación controlada de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay constituye una alternativa técnica viable para mejorar el desempeño del adobe tradicional empleado en el distrito de San Jerónimo, Cusco. Los resultados obtenidos evidenciaron que esta modificación no solo incrementó de manera significativa la resistencia mecánica del material, sino que también redujo su vulnerabilidad frente a la humedad, aspectos críticos para la seguridad y durabilidad de la albañilería de tierra.

El análisis conjunto de los ensayos realizados permitió identificar que la dosificación óptima correspondió a la combinación de 2 % de madera pulverizada de residuos de parquet y 7 % de mucílago de jahuacollay, la cual alcanzó un comportamiento equilibrado en compresión simple, compresión axial, compresión diagonal y succión, superando de forma consistente al adobe tradicional y cumpliendo holgadamente los requisitos establecidos por la Norma E.080. Este desempeño confirma que las mejoras observadas no son aisladas, sino el resultado de una interacción favorable entre el refuerzo lignocelulósico y la acción cohesiva del mucílago sobre la matriz arcillosa.

Desde una perspectiva más amplia, los hallazgos respaldan la hipótesis general planteada y aportan evidencia técnica sobre el potencial de valorización de residuos maderables y recursos vegetales locales como insumos para la construcción sostenible. La

investigación demuestra que es posible mejorar materiales tradicionales sin alterar su naturaleza ni incrementar significativamente su complejidad constructiva, manteniendo su accesibilidad económica y su pertinencia cultural en contextos andinos.

No obstante, los resultados deben interpretarse considerando el alcance del estudio. La validación definitiva de esta alternativa requiere investigaciones complementarias orientadas a evaluar su comportamiento a largo plazo, su desempeño frente a condiciones ambientales más severas, así como análisis económicos y sociales que permitan valorar su factibilidad de implementación a escala comunitaria. En este sentido, la presente tesis establece una base técnica sólida sobre la cual pueden desarrollarse futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el ámbito de la construcción con tierra.

VII. Recomendaciones

Para el Objetivo General

Se recomienda emplear la dosificación 2% de madera pulverizada de residuos de parquet + 7% de mucílago de Jahuacollay como mezcla estándar para la fabricación de adobes en el distrito de San Jerónimo y localidades con características similares, dado que esta formulación evidenció el mejor equilibrio entre resistencia mecánica, capacidad cortante y menor succión, siendo adecuada para viviendas de uno y dos niveles. Esta mezcla no solo mejora el desempeño estructural del adobe, sino que también aprovecha materiales locales y residuos maderables, por lo que se sugiere incorporarla en programas de capacitación a maestros de obra y en lineamientos técnicos municipales orientados a la construcción sostenible y segura en zonas rurales.

Para el Objetivo Específico 1

Dado que la dosificación 2%MP+7%MJ alcanzó la mayor resistencia a la compresión simple, se recomienda utilizarla en la producción de unidades de adobe destinadas a elementos portantes, asegurando en obra una dosificación precisa, un mezclado uniforme y una adecuada compactación del material en los moldes para reproducir los resultados obtenidos en laboratorio. Asimismo, se sugiere evaluar su desempeño en diferentes tipos de suelo locales para validar su aplicabilidad en diversas condiciones geotécnicas y optimizarla según el contenido de arcilla o arena presente en cada zona.

Para el Objetivo Específico 2

A partir de los resultados que mostraron mejoras significativas en la resistencia axial, especialmente en la dosificación 2%MP+7%MJ, se recomienda utilizar esta mezcla en muros de carga y elementos que soporten esfuerzos verticales relevantes, garantizando una correcta adherencia entre unidades mediante un mortero compatible y un proceso de asentado controlado. Adicionalmente, se aconseja capacitar a los operarios en prácticas de

alineación, plomeo y humedecimiento previo de las unidades para asegurar un desempeño estructural adecuado, y promover investigaciones que evalúen la resistencia de estas pilas bajo cargas sostenidas o variaciones de humedad propias del servicio real.

Para el Objetivo Específico 3

Considerando que todas las mezclas con aditivos superaron al adobe tradicional en resistencia diagonal y que la dosificación 2%MP+7%MJ logró el mayor desempeño, se recomienda emplear esta mezcla en muros que estarán expuestos a esfuerzos laterales, especialmente en zonas de alta sismicidad donde la capacidad para resistir cargas cortantes es determinante. Esta mejora del material debe complementarse con medidas sismorresistentes como sobrecimientos, confinamientos, amarre de muros y cubiertas livianas, y se sugiere profundizar investigaciones mediante ensayos cíclicos que permitan comprender la respuesta de esta mezcla ante solicitaciones similares a las de un evento sísmico.

Para el Objetivo Específico 4

Dado que la dosificación 2%MP+7%MJ obtuvo la menor succión, se recomienda utilizarla en edificaciones expuestas a humedad ascendente, precipitaciones frecuentes o suelos con presencia de agua, ya que reduce la velocidad de ascenso capilar y contribuye a aumentar la durabilidad del adobe. No obstante, para maximizar su desempeño a largo plazo, es indispensable complementar su uso con sobrecimientos adecuados, drenajes perimetrales y revestimientos protectores, y se sugiere realizar estudios que analicen su comportamiento frente a ciclos prolongados de humedecimiento y secado para validar su resistencia ante condiciones de intemperie.

Para el Objetivo Específico 5

En función del análisis integral de las propiedades mecánicas y físicas, se recomienda adoptar la mezcla 2%MP+7%MJ como dosificación óptima para proyectos de construcción

con adobe en el distrito de San Jerónimo, evitando incrementos superiores de madera pulverizada de residuos de parquet o mucílago de jahuacollay que podrían generar heterogeneidad y mayor porosidad en el material. Asimismo, se sugiere incorporar esta dosificación en guías de fabricación y capacitación técnica dirigida a productores locales, y promover investigaciones futuras que evalúen aspectos adicionales como desempeño térmico, impacto ambiental y costo-beneficio, con el fin de respaldar su aplicación en programas de vivienda rural a mayor escala.

Recomendaciones para futuras investigaciones

A partir de los resultados obtenidos y considerando las limitaciones identificadas en el presente estudio, se recomienda desarrollar investigaciones complementarias que permitan ampliar y consolidar el conocimiento sobre el uso de madera pulverizada de residuos de parquet y mucílago de Jahuacollay en la fabricación de adobe.

En primer lugar, se sugiere evaluar el comportamiento del adobe reforzado con la dosificación óptima de 2% de madera pulverizada de residuos de parquet y 7% de mucílago de jahuacollay frente a condiciones de durabilidad a largo plazo. Esto incluye la realización de ensayos de envejecimiento acelerado, ciclos de humedecimiento–secado, ataque químico y, de ser pertinente, ciclos de hielo–deshielo, con el fin de analizar su desempeño bajo escenarios ambientales más exigentes y cercanos a las condiciones reales de servicio.

Asimismo, se recomienda ampliar el estudio a otros tipos de suelo con diferentes características granulométricas, plasticidad y contenido mineral, tanto dentro como fuera del ámbito del distrito de San Jerónimo. Esta ampliación permitiría determinar la adaptabilidad de la dosificación propuesta a diversos contextos geotécnicos y establecer criterios de ajuste según la naturaleza del suelo local.

Desde un enfoque económico y ambiental, se considera pertinente desarrollar estudios que cuantifiquen los costos reales de implementación de esta alternativa

constructiva, así como su impacto ambiental en términos de reducción de residuos maderables y huella de carbono. Un análisis costo–beneficio y una evaluación de sostenibilidad permitirían respaldar técnicamente su incorporación en programas de vivienda rural y proyectos de construcción sostenible.

Adicionalmente, se sugiere profundizar en el análisis estructural del adobe reforzado mediante ensayos a escala de muretes y módulos habitacionales, incorporando pruebas dinámicas o cuasiestáticas que simulen acciones sísmicas. Este tipo de estudios contribuiría a validar el comportamiento integral del sistema constructivo y su respuesta ante solicitaciones laterales.

Finalmente, se recomienda explorar la escalabilidad del proceso de fabricación, evaluando la producción de adobes en condiciones semiindustriales o comunitarias, así como la aceptación sociocultural del uso de estos aditivos por parte de constructores locales. Este enfoque permitiría cerrar la brecha entre el laboratorio y la aplicación práctica, fortaleciendo el impacto social y técnico de futuras investigaciones.

VIII. Referencias

Alday, P. (2014). *EFECTO DE LOS ESTABILIZADORES EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL adobe.* Santiago: UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO.

Arias, J., Holgado, J., Tafur, T., & Vasquez, M. (2022). *Metodología de la investigación: El método ARIAS para desarrollar un proyecto de tesis.* Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. doi:10.35622/inudi.b.016

Arotaipe, O., & Lecaros, A. (2022). *Evaluación De Las Propiedades Físico-Mecánicas Del Adobe Con Reemplazo De Ichu Por Fibra De Cabuya, En El Sector De Quispiquilla Del Distrito De San Sebastián – Cusco 2022.* Cusco: Universidad Andina del Cusco.

ASTM C 127-2012. (2012). *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse.* USA: ASTM International.

Balila, A., & Vahdati, M. (2024). Biomimicry in construction: Glycoprotein-stabilised adobe bricks for enhanced compressive strength inspired by termites mounds. *Construction and Building Materials, 438*, 137077. doi:10.1016/j.conbuildmat.2024.137077

Calidad, I. N. (2019). *NTP 339.129:1999 (revisada el 2019) SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.* Lima, Perú.

Calidad, I. N. (2021). *NTP 339.162:2001 (revisada el 2021) SUELOS. Guía estándar para la identificación y descripción de suelos.* Lima.

Calidad., I. N. (2019). *NTP 339.128:1999 (revisada el 2019) SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico.* Lima, Perú.

Castro, D. (2021). *Implementación De Aditivos Para Mejorar La Absorción Y La Resistencia De Los Adobes Tradicionales, En El Centro Poblado De Pedrosa-Amarilis-2021.* Huanuco: Universidad Nacional Hermilio Valdizan.

Cerna Livia, M. E., & Velásquez De La Cruz, C. M. (2021). *Estudios de propiedades mecánicas del adobe con adición de viruta de madera y tereftalato de polietileno en Aquia – Ancash 2021*. 2021: Universidad Cesar Vallejo.

Cespedes, M. (2006). Ventaja ambiental del adobe. *Ambientico*, 15-16.

Construcción, D. N. (2017). *Manual de Construcción de Edificaciones Antisísmicas de Adobe.* Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Daniel, W. (2009). *A Foundation for Analysis in the Health Sciences (9.ª ed.).* Nueva York, Estados Unidos: Wiley.

Fages, J., Tarque, N., Rodríguez, J., & Solís, M. (2022). Calibration of a total strain crack model for adobe masonry based on compression and diagonal compression tests. *Construction and Building Materials, 352*, 128965. doi:10.1016/j.conbuildmat.2022.128965

Fernández, U. (2015). *Adsorción de plomo de aguas contaminadas usando el cactus gigantón (Trichocereus cuzcoensis).* Cusco: Universidad San Antonio Abad del Cusco.

Field, A. (2018). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics (5.ª ed.).* Londres: SAGE Publications.

Figueroa, M. (2011). *Fichas para la reparación de viviendas de adobe.* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Fredlund , D. G. (1995). The Scope of Unsaturated Soil Mechanics: an overwiev. *Proceedings of the First International Conference on Unsaturated Soils*, (pág. 23). Paris.

Guerrero Rivera, M. F. (2019). *Alternativas de estabilización del adobe para disminuir su*

contracción volumétrica y agrietamiento. Bogotá: Universidad de los Andes.

Guerrero, L. (2014). Potencial ecológico de lka edificación de adobe. *Gremium*, 31-32.

Hadi, M., Martel, C., Huayta, F., Rojas, R., & Arias, J. (2023). *Metodología de la investigación: Guía para el proyecto de tesis.* Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. doi:10.35622/inudi.b.073

Hadzich, M. (2000). *Vivienda antisismica de adobe.* Lima: Pontificie Universidad Catolica del Peru.

Hernández Sampieri, R. (2018). *Metodología de la investigación las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* Mexico: Mc Graw Hill Education.

Hoyos Sangay, C. (2020). *Influencia de la fibra vegetal ICHU en la resistencia de adobes estabilizados con Cal al 20%.* Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.

Instituto Nacional de Calidad. (2019). *NTP 339.128:1999 (revisada el 2019) SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico.* Lima, Perú.

Instituto Nacional de Calidad. (2021). *NTP 339.162:2001 (revisada el 2021) SUELOS. Guía estándar para la identificación y descripción de suelos (Procedimiento visual-manual) (2ª ed.).* Lima.

Instituto Nacional de Estadística e Informatica. (2013). *Compendio Estadístico del Perú 2013.* Lima: INEI.

Kumar, N. (2023). *Mechanical and Structural Behavior of Compressed and Stabilized Earth Block Masonry Systems.* Baton Rouge, Estados Unidos: Louisiana State University.

Lozano Quispe, J., & Zurita Herrera, A. (2019). *Resistencia A La Compresión Y Absorción Del Adobe Estabilizado Con Confitillo.* Jaén: Universidad Nacional De Jaén.

Magaña Mendoza, P. C. (2021). *Mejoramiento Del Adobe, Integrando Óxido De Calcio Y Fibra De Coco; Para Evaluar Sus Resistencias: De Compresión, Térmica Y Absorción De Humedad.* Mexico: Tecnologico Nacional de Mexico.

Masgo Principe, M. M., Quintana Venancio, D. B., & Reyes Unchupaico, Y. T. (2021). *Adobes con ceniza de cáscara de arroz aplicados a la.* Huancayo: Universidad Continental.

Medina, M. (2022). *Aplicación Y Mejoramiento De La Resistencia Del Adobe Reforzado Con Hojas Secas De Bambú En La Convención – Cusco 2022.* Cusco: Universidad Cesar Vallejo.

Ministerio de Vivienda, C. y. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones.* Lima: MVCS.

Montgomery, D. (2017). *Design and Analysis of Experiments (9.ª ed.).* Estados Unidos: Hoboken.

Morales, R., Torres Cabrejos, R., A Rengifo, L., & Irala Candiotti, C. (1993). *Manual para lla construccion de vivivendas de adobe.* Lima.

Moreno Peña , J. R. (2021). *Mejoramiento Del Adobe, Integrando Óxido De Calcio Y Fibra De Coco; Para Evaluar Sus Resistencias: De Compresión, Térmica Y Absorción De Humedad.* Colima: Tecnologico Nacional de Mexico.

Normalización., C. E. (2002). *Eurocódigo 0: Bases de cálculo de estructuras (EN 1990).* Bruselas, Bélgica: CEN.

Ortiz Zamora, D. Y. (2019). *Efectos de la incorporación de cuatro porcentajes (2.5%, 5%, 7.5% y 10%) de estiércol de caballo en la resistencia a la compresión y flexión del adobe".* Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

Peñalba, D., & Pérez, I. (2022). Residuos de madera generados en talleres de carpintería del

municipio de Camoapa. *LaCalera*, 41-45.

Peraza Góngora, J. (2022). *aracterización de adobes experimentales: Efecto de la adición de aditivos poliméricos en sus propiedades mecánicas.* Mexico: Centro de Investigación Científica de Yucatán.

Pino Escobar, H. (2019). *La adición de aserrín y poliestireno en la elaboración de bloques de adobe para viviendas unifamiliares y su efecto en la variación de temperatura y acondicionamiento acústico en el cantón Ambato.* Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.

Robles Rojo, A., Arceo Díaz, S., Moreno Peña, J., & Chávez Pérez, D. (2021). Análisis de la resistencia mecánica ante compresión de bloques de adobe con agregados de fibra de bagazo de caña. *Revista Ingeniantes, 1*(2), 7. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/356944856

Tomasi, J., & Bellmann, L. (2018). Adobe. *Bioarquitectura: diseño y construcción con tierra,* 18-27.

Ullah Khan, E., Arsalan Khushnood, R., & Latif Baloch , W. (2020). Spalling sensitivity and mechanical response of an ecofriendly sawdust high strength concrete at elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, Vol 258.

Vera, A., & Manzaba, M. (2019). *Efecto de la relación pulpa - mucílago de melón amargo (momordica charantia) en la concentración final de una leche fermentada.* Ecuador: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Vilane, T., & Hann, J. (2022). The Compressive Strength of Adobe Block Masonry Walls. *European Journal of Applied Sciences, 10*(4), 1-23. doi:10.14738/aivp.104.12707

Villa, U. D., Osorio Rivera, M. Á., & Villacis Venegas, N. Y. (2020). Extracción,

propiedades y beneficios de los mucílagos. *Dominio de las Ciencias*, 504-508.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes